



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES**

**HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES CON POTENCIAL
MEDICINAL Y NUTRICIONAL EN LA REGIÓN CENTRAL DEL
ESTADO DE MÉXICO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES**

PRESENTA:

M.C.A.R.N DAVID SÁNCHEZ GARCÍA

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Junio 2022



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES**

**HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES CON POTENCIAL
MEDICINAL Y NUTRICIONAL EN LA REGIÓN CENTRAL DEL
ESTADO DE MÉXICO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

M.C.A.R.N DAVID SÁNCHEZ GARCÍA

COMITÉ DE TUTORES:

Dra. CRISTINA BURROLA AGUILAR

Dra. CARMEN ZEPEDA GÓMEZ

Dra. MARÍA ELENA ESTRADA ZÚÑIGA

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Julio 2022.

RESUMEN

A largo de la historia de los seres humanos se han valido de los recursos naturales que se encuentran a su alrededor; entre todos ellos, los hongos silvestres destacan por sus singulares formas, colores, sabores y olores.

Gracias a la diversidad de ecosistemas del territorio mexicano, es factible la presencia de una gran variedad de hongos silvestres, los cuales fueron aprovechados por los antiguos pobladores de Mesoamérica con distintas finalidades.

Muestra de este importante legado son los conocimientos y prácticas relacionadas con la utilización sostenible de los hongos en el México antiguo. En el México prehispánico, estos organismos eran utilizados con fines medicinales, y en la actualidad los hongos siguen siendo importantes en la medicina tradicional, hasta ahora se han documentado aproximadamente 350 especies fúngicas que se utilizan en la medicina tradicional mexicana para atender cerca de 150 padecimientos de distintos sistemas. Dichas propiedades medicinales se deben a los compuestos bioactivos (alcaloides, benzoquinonas, flavonoides, ácidos orgánicos, fenoles, esteroides, etc.) los cuales presentan una amplia actividad antitumoral, antifúngica, antibacteriana y antiviral.

Si bien el Estado de México es una de las entidades con un gran conocimiento sobre los Hongos Comestibles Silvestres (HCS), la información al respecto se encuentra dispersa. La mayoría de los estudios sobre los HCS han sido realizados desde la perspectiva de la biología o ecología.

Los hongos silvestres comestibles forman parte de la diversidad biológica y cultural de México y se amalgaman en una tradición basada en el uso múltiple de los recursos.

Debido a lo anterior en la presente investigación, se plantearon los objetivos de identificar las especies de HCS que presentan atributos medicinales, conocer los principales grupos de metabolitos secundarios y evaluar la actividad antibacteriana de *Cantharellus subalbidus*, *Infundibulicybe gibba*, *Lactarius indigo* y *L. deliciosus* que son especies comestibles con uso medicinal.

En cuanto al uso medicinal de los hongos silvestres comestibles en el estado de México se tiene que existe un conocimiento limitado sobre la cantidad de especies de hongos con usos medicinales, utilizando 36 especies medicinales, que se utilizan para el tratamiento de problemas relacionados con el tracto digestivo, el sistema circulatorio y los signos y síntomas; todas enfermedades son de alta prevalencia y algunas con graves consecuencias para la salud y altos costos de tratamiento médico.

En cuanto a la actividad antibacteriana, *C. subalbidus*, *I. gibba*, *L.deliciosus* y *L. indigo* inhibieron significativamente el crecimiento de las bacterias patógenas *Escherichia. coli*, *E. faecalis*, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella enterica*. Donde el porcentaje de inhibición del crecimiento bacteriano dependió de la bacteria y tipo de extracto y su concentración. En términos generales, el mayor porcentaje de inhibición de todos los extractos analizados se observó a la mayor concentración evaluada (64 µg/ml). Las especies *Lactarius indigo* y *Cantharellus sulbadius* presentaron acción inhibitoria contra las bacterias, siendo *S. aureus* el microorganismo más susceptible seguido de *E. coli*, por otro lado *S. enterica* y *E. faecalis* fueron las bacterias más resistentes a los extractos.

En lo que respecta al perfil micoquímico se demostró la presencia de flavonoides, glucósidos, taninos, azúcares reductores y lactonas sesquiterpénicas en el extracto metanólico de *C. subalbidus*, *I. gibba*, *L.deliciosus* y *L. indigo*. Además, el extracto de *C. subalbidus* e *I. gibba* presentaron alcaloides.

Los resultados obtenidos colocan a los HCS como un reservorio de sustancias que producen efectos positivos en la salud humana y en muchos grupos originarios se mantiene la concepción de que los hongos son al mismo tiempo alimento y medicina, además que se consideran fuentes potenciales de compuestos bioactivos

ABSTRACT

Throughout the history of human beings they have used the natural resources that are around them; among all of them, wild edible mushrooms (WEM) stand out for their unique shapes, colors, flavors and smells. Thanks to the diversity of ecosystems in the Mexican territory, the presence of a great variety of wild edible mushrooms is feasible, which were used by the ancient inhabitants of Mesoamerica for different purposes.

Proof of this important legacy are the knowledge and practices related to the sustainable use of mushrooms in ancient Mexico. In prehispanic Mexico, these organisms were used for medicinal purposes, and today mushrooms are still important in traditional medicine, so far more than 350 fungal species have been documented that are used in traditional Mexican medicine to treat more than 150 conditions of different systems. Such medicinal properties are due to bioactive compounds (alkaloids, benzoquinones, flavonoids, organic acids, phenols, steroids, etc.) which have extensive antitumoral, antifungal, antibacterial and antiviral activity.

Although the State of Mexico is one of the entities with a great knowledge about WEM, but the information about it is scattered. Most studies on WEM have been conducted from the perspective of biology or ecology. Wild edible mushrooms are part of Mexico's biological and cultural diversity and are amalgamated into a tradition based on the multiple use of resources.

Due to the above in the present research, the objectives were raised to identify the species of WEM that present medicinal attributes, to know the main groups of secondary metabolites and to evaluate the antibacterial activity of *Cantharellus subalbidus*, *Infundibulicybe gibba*, *Lactarius indigo* and *L. deliciosus* that are edible species with medicinal use.

As for the medicinal use of wild edible mushrooms in the state of Mexico, there is limited knowledge about the number of species of mushrooms with medicinal uses, using 36 medicinal species, which are used for the treatment of problems related to the digestive tract, the circulatory system and signs and symptoms; all diseases are of high prevalence and some with serious health consequences and high costs of medical treatment.

As for the antibacterial activity *C. subalbidus*, *I. gibba*, *L.deliciosus* and *L. indigo* significantly inhibited the growth of the pathogenic bacteria *Escherichia. coli*, *E. faecalis*, *Staphylococcus aureus* and *Salmonella enterica*. Where the percentage of inhibition of bacterial growth depended on the bacterium and type of extract and its concentration. In general terms, the highest percentage of inhibition of all extracts analyzed was observed at the highest concentration evaluated (64 µg/ml). The species *Lactarius indigo* and *Cantharellus sulbadius* presented inhibitory action against bacteria, with *S. aureus* being the most susceptible microorganism followed by *E. coli*, on the other hand *S. enterica* and *E. faecalis* were the most resistant bacteria to the extracts.

Regarding the mycochemical profile, was demonstrated the presence of flavonoids, glycosides, tannins, reducing sugars and sesquiterpene lactones in the methanolic extract of *C. subalbidus*, *I. gibba*, *L.deliciosus* and *L. indigo*. In addition, the extract of *C. subalbidus* and *I. gibba* presented alkaloids.

The results obtained place WEM's as a reservoir of substances that produce positive effects on human health and in many native groups the conception is maintained that mushrooms are both food and medicine, in addition to being considered potential sources of bioactive compounds.

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	11
2.	ANTECEDENTES	12
2.1	Conocimiento micológico tradicional	12
2.2	Medicina natural	13
2.3	Conocimiento micológico tradicional	14
2.4	Los Hongos y su importancia	16
2.4.1	Hongos tóxicos	18
2.4.2	Hongos neurotrópicos	19
2.4.3	Hongos comestibles.....	20
2.4.4	Hongos medicinales	21
2.4.5	Propiedades terapéuticas de los hongos	22
2.5	Metabolitos primarios	24
2.6	Metabolitos secundarios	24
2.7	Actividad antibacteriana	25
2.7.1	Clasificación y mecanismos de acción de los antibióticos.....	26
2.7.2	Acción bactericida	27
2.7.3	Resistencia antibacteriana	28
3.	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	33
4.	JUSTIFICACIÓN	34
5.	OBJETIVOS	35
6.	MATERIAL Y MÉTODO	36
6.1	Primera parte: Conocimiento tradicional	36
6.1.1	Investigación bibliográfica.....	36
6.1.2	Zona de estudio y entrevistas a informantes	36
6.1.3	Sistematización de la información.....	37
6.1.4	Obtención e Identificación taxonómica de las especies	37
6.2	Segunda parte: Actividad biológica de los hongos.....	38

6.2.1	Colección de ejemplares	38
6.2.2	Preparación de extractos	38
6.2.3	Preparación de las cepas.....	38
6.2.4	Concentración Mínima Inhibitoria (MIC).....	39
6.2.5	Análisis Estadístico	39
6.2.6	Análisis Micoquímico	40
7.	RESULTADOS	44
7.1	ARTÍCULO 1:	45
7.2	ARTÍCULO 2:	58
8.	DISCUSIONES GENERALES	78
9.	CONCLUSIONES GENERALES	80
10.	BIBLIOGRAFÍA	81

1. INTRODUCCIÓN

Los hongos están presentes en muchos aspectos de nuestras vidas y en la función de los ecosistemas en los que se desarrollan (Zamora, 1999), constituyen un recurso forestal no maderable cuya recolecta forma parte de los patrones de subsistencia de las poblaciones rurales que viven cercanas a las zonas boscosas en más de 110 países en el mundo. En los últimos años, los estudios etnomicológicos, biológicos, ecológicos se han incrementado por la importancia ecológica y cultural que representan los hongos. Los hongos silvestres comestibles forman parte de la diversidad biológica y cultural de México y se amalgaman en una tradición basada en el uso múltiple de los recursos (Villarreal y Pérez 1989).

En México prehispánico, los hongos eran utilizados con fines medicinales y en la actualidad siguen siendo importantes en la medicina tradicional de distintos pueblos originarios y mestizos. Hasta ahora se han documentado más de 350 especies fúngicas que se utilizan en la medicina tradicional mexicana para atender más de 150 padecimientos de distintos sistemas: digestivo, respiratorio, circulatorio, endocrino, esquelético, nervioso, reproductor e integumentario. Para las comunidades indígenas los hongos son, al mismo tiempo, alimento y medicina, por ello utilizan diversas especies alimenticias para atender múltiples afecciones del cuerpo y del espíritu (Bautista-Gonzales y Herrera-Campos, 2019).

Los hongos silvestres comestibles son una gran fuente de sustancias que producen efectos positivos en la salud humana; por ello en la ciencia moderna se consideran alimentos funcionales es decir alimentos que además de su contenido nutrimental ayudan a prevenir o curar enfermedades. Estos organismos son una valiosa fuente de alimento con alto contenido proteínico, el cual está por encima de la mayoría de las verduras y varía del 10 al 40% de su biomasa seca, presentan un alto contenido de fibra, incluyen todos los aminoácidos esenciales para la dieta humana y una importante cantidad de vitaminas de los grupos B, C y D, a esto se le suma su baja cantidad de grasas y la carencia por completo de colesterol (Mattila *et al.*, 2000; Smith y Sullivan, 2004; Trigos y Suárez-Medellín, 2010). Sus características nutracéuticas y la importancia cultural que poseen los HCS, ha dado pauta para que se

considere su aprovechamiento como una alternativa para el desarrollo regional, con el fin de enriquecer la dieta de pobladores que habitan en zonas rurales y urbanas, e integrar las comunidades a mercados regionales (Garibay-Orijel *et al.*, 2009).

Por otra parte, los macromicetos producen metabolitos secundarios constituyen una de las mayores fuentes de productos naturales biológicamente activos como metabolitos primarios y/o secundarios producidos por los mismos (González *et al.*, 2009). Se ha evidenciado que estos compuestos bioactivos presentan una amplia actividad antitumoral, antifúngica, antibacteriana, antiviral, entre otras (Brizuela, 1998) a la fecha se han aislado diversas sustancias, a partir del cuerpo fructífero o micelio (Lindequist *et al.*, 2005). El Estado de México ocupa el quinto lugar en México en cuanto al número de especies de hongos registrados, después de Veracruz, Oaxaca, Jalisco y Michoacán (Frutis y Valenzuela, 2009). Por lo tanto, el Estado de México puede ser considerado como una de las regiones con mayor tradición micófila y riqueza de Hongos Comestibles Silvestres (HCS).

2. ANTECEDENTES

2.1 Conocimiento micológico tradicional

México por ser uno de los países con mayor diversidad biológica y cultural, representa un campo de estudio muy amplio, tanto en el aspecto biológico como etnológico. En cuanto al aspecto biológico el país ocupa el cuarto lugar a nivel mundial, por lo que es considerado un país megadiverso (Toledo, 1994). La alta diversidad biológica que México presenta, es producto de su ubicación entre dos regiones biogeográficas, la neártica y la neotropical, además de las variaciones en topografía y clima encontradas en su superficie, las cuales se mezclan unas con otras, creando un mosaico amplio de condiciones ambientales y microambientes (Flores y Geréz, 1994).

En cuanto al aspecto étnico, México es el sexto país en diversidad étnica que se expresa en 62 grupos étnicos que incluyen cerca del 13% de la población nacional y que poseen 290

variantes dialectales y numerosas representaciones culturales como fiestas, rituales, música, vestimentas, mitos, dinámicas, económicas, formas de manejo de recursos, etc. (Ruan-Soto *et al.*, 2004).

La diversidad cultural humana se encuentra estrechamente ligada a la biodiversidad, esta es una de las razones por las cuales existen patrones de presencia de grupos indígenas en regiones con alta diversidad biológica asociando la realización de sus principales actividades de sobrevivencia a los ecosistemas con el uso de recursos naturales (Toledo, 2001).

A través del tiempo, el uso de los recursos naturales por parte de los grupos indígenas ha permitido la acumulación de conocimientos sobre la biología de especies y de procesos ecológicos locales (Reyes-García y Martí, 2007), a esto se le denomina conocimiento tradicional y puede ser definido como el conjunto de saberes y prácticas (creencias, leyendas, mitos, etc.) generadas y acumuladas colectivamente, que se guardan en la memoria y actividades de la gente y se transmiten de generación a generación en forma oral, práctica y en algunos casos escrita (Luna-Morales, 2002). Dicho conocimiento más que destruir al ecosistema contribuye a su conservación y puede ser una herramienta clave para la elaboración y desarrollo de programas restauración ecológica y conservación tanto para la diversidad biológica como la cultural, por lo tanto, se constituye como una promotora de la gestión sostenible de los recursos (Huntington *et al.*, 2004).

2.2 Medicina natural

La medicina natural ha sido utilizada para el tratamiento de numerosas enfermedades en el transcurso de la historia de la humanidad. Desde la antigüedad se conocen los efectos benéficos de un número importante de hongos sobre la salud humana, muchos de las cuales han sido utilizados para curar y prevenir diversas enfermedades (Dahanukar *et al.*, 2000). De forma general, el uso de hongos para tratar enfermedades se remonta a hace más de 3 000 años en el continente asiático, aunque fueron los occidentales, como los griegos y romanos, los que sistematizaron a través de sus escritos, el estudio de hongos medicinales (Lauradó *et al.*, 2011; Tan *et al.*, 2004).

En el siglo pasado, con el desarrollo del sector químico-farmacéutico, se produjo un incremento en la producción de los fármacos químico-sintéticos y semisintéticos. Esto trajo como consecuencia un aumento de las reacciones adversas y efectos negativos colaterales de estos compuestos, así como de elevados costos de adquisición. Por tal motivo, en las últimas décadas ha crecido una tendencia generalizada a retomar el empleo de productos derivados de fuentes naturales, como las plantas y hongos comestibles, consumidos como suplementos dietéticos en un número cada vez mayor de países. Las sustancias que tienen los hongos exhiben propiedades farmacológicas en un espectro amplio de enfermedades han demostrado su inocuidad en comparación con los medicamentos de origen químico-sintético (Lauradó *et al.*, 2011).

Con el desarrollo de la civilización moderna, las tradiciones de los pueblos originarios se han visto afectadas por los adelantos químico-farmacéuticos de la medicina académica (Guzmán, 2008). A pesar de todo esto, en la actualidad numerosas etnias continúan manifestando sus tradiciones y transmitiendo sus conocimientos a las nuevas generaciones. Dentro de este maravilloso repertorio de conocimientos está el del uso de los hongos como agentes terapéuticos, el cual se puede observar entre los diversos grupos étnicos de México, así como en muchas sociedades alrededor del mundo (Estrada-Torres, 1989).

2.3 Conocimiento micológico tradicional

El conocimiento tradicional de los hongos silvestres y las manifestaciones e implicaciones culturales y/o ambientales que se derivan de las relaciones establecidas entre el hombre y los hongos a través del tiempo y espacio, recibe el nombre de Conocimiento Micológico Tradicional (CMT) (Moreno-Fuentes *et al.*, 2001). Signorini *et al.*, (2009) menciona que este conocimiento no es estático, está en constante enriquecimiento y modificación. A pesar de que CMT es amplio a lo largo del territorio latinoamericano se encuentra en riesgo, debido a una acelerada pérdida de todo el saber tradicional por la influencia de la cultura occidental y su modo de vida, así como por el desplazamiento cultural y aculturación de los pobladores locales, los cuales van perdiendo progresivamente todo el embalaje de conocimientos acumulado durante cientos de años (Garibay-Orijel *et al.*, 2010).

México es uno de los países más ricos en el uso tradicional de los hongos, especialmente en la región central del país, donde existe una rica herencia cultural prehispánica (Ruan-Soto *et al.*, 2004; Valencia-Flores, 2006; Pérez- Moreno *et al.*, 2008; Estrada-Martínez *et al.*, 2009) lo cual ha favorecido que algunos pueblos antiguos y actuales mantengan una tradición arraigada sobre el uso comestible y medicinal de los hongos, así como de su incorporación en festividades y ceremonias mágico-religiosas (Gispert *et al.*, 1984; Ruan-Soto *et al.*, 2006).

El uso tradicional de los hongos en nuestra cultura es muy antiguo, Sahagún en el Códice Florentino muestra el papel que desempeñaban los hongos en la cultura precolombina por sus propiedades culinarias y farmacológicas o psicoterapéuticas (Cappello-García, 2003).

Actualmente el conocimiento tradicional de los hongos comestibles silvestres cobra cada día mayor interés social y económico en México debido a su importancia como alimento básico, sobre todo por sus propiedades alimenticias que en muchos casos superan a productos de origen vegetal. Las cualidades medicinales de un número importante de hongos, el aumento de su valor comercial y el desconocimiento de importantes aspectos ecológicos y desarrollos biotecnológicos (Villareal y Gómez, 1997; Mariaca *et al.*, 2001; (Guzmán, 2008) hacen de los hongos comestibles un recurso con alto potencial de aprovechamiento.

Una de las ramas de la etnobiología es la etnomicología; la cual surgió en los años 50 con las exploraciones realizadas por Robert Gordon Wasson y su esposa Valentina Pavlovna, considerados los padres de la etnomicología. Los cuales concebían a esta disciplina como el estudio del impacto que han tenido los hongos mágicos (neurotrópicos) en las culturas primitivas. Fue definida en un principio como: el estudio de los hongos en relación con la formación de la cultura humana (Estrada-Torres, 1989).

Al igual que la etnobotánica, la etnomicología ha evolucionado debido a los diferentes puntos de vista y nuevos criterios que se han acumulado después de numerosas investigaciones; por lo tanto, el concepto ha cambiado y Moreno-Fuentes *et al.*, (2001) la define como “el área de la Etnobiología que se encarga de estudiar el saber tradicional y las manifestaciones e implicaciones culturales y/o ambientales que se derivan de las relaciones establecidas entre hongos y el hombre a través del tiempo y espacio” concepto al cual, Tovar y Garibay-Orijel (2000) agregan: “...así como los mecanismos mediante los cuales se generan, transmiten y

evolucionan de manera no formal a través del tiempo y espacio, que pueden brindar elementos para la modificación y perfeccionamiento de los recursos”.

Los humanos clasifican los elementos del medio que la rodea de acuerdo con el uso que le dan a estos o por los efectos que tiene con sus actividades, de esta manera, se pueden enmarcar dentro de categorías antropocéntricas o de uso (Estrada-Torres, 1989). Al hablar de los hongos es difícil agruparlos en las categorías ya definidas para otros organismos como lo son plantas o animales, que, aunque es cierto existen diversos registros que demuestran la utilidad de los hongos en varios aspectos, muchas de estas categorías son difíciles de establecer debidos a que sus usos están restringidos a áreas pequeñas o en algunos casos se han perdido con la evolución de los grupos humanos (Ramírez, 2009)

Durante años el conocimiento sobre el uso de los hongos silvestres ha sido poco explorado; éste surgió, principalmente, por el interés sobre el uso de los hongos silvestres comestibles, pero con el paso del tiempo la etnomicología tuvo un desarrollo ligado al estudio de los hongos alucinógenos, dejando a un lado la importancia que estos organismos tienen en la alimentación, la medicina tradicional, las artesanías u otras actividades del hombre (Estada-Torres, 1989; Ramírez, 2009).

Los países del mundo se pueden dividir en dos grandes grupos: las sociedades micofílicas en donde los hongos son muy apreciados y existe una tradición muy arraigada por su uso; y por otra parte, se encuentran las sociedades micofóbicas en donde los hongos son vistos con cierto temor y no representan mayor importancia en su uso. (CITA)

2.4 Los Hongos y su importancia

Los hongos son organismos eucariontes no fotosintéticos y heterotróficos (incapaces de usar el bióxido de carbono como única fuente de carbono) que incorporan el agua y los nutrientes necesarios para su desarrollo por absorción. Se reproducen sexual o asexualmente, forman largas células tubulares llamadas hifas que presentan crecimiento apical. Sus células presentan una pared constituida de quitina, pero también puede contener celulosa. No son

organismos móviles, pero en algunos casos sus esporas sí lo son; pueden ser haploides, homocarióticos, heterocarióticos, dicarióticos o diploides (Alexopoulos, 1996; Ruiz, 2006).

Hawksworth (2001), estima que existen alrededor de 1.5 millones de especies de hongos, lo que ubica a este como el segundo grupo de organismos más grande en el planeta, sólo después de los insectos y se estima que en México podrían existir más de 200,000 especies (Guzmán, 1998).

Ecológicamente los hongos son protagonistas en los ciclos biogeoquímicos, ya que descomponen materiales lignocelulolíticos (Garibay-Orijel *et al.*, 2010). Su diversidad y abundancia en cualquier región está en función directa del tipo y densidad de la vegetación, aunado a factores como temperatura, grado de humedad, altitud, latitud, etc., que influyen conjuntamente en el desarrollo de los mismos (Moreno-Fuentes *et al.*, 1994). Por otra parte, al ser organismos saprobios descomponen la materia orgánica y hacen disponibles los nutrientes inmovilizados en ella así, transforman químicamente el medio manteniendo de la fertilidad del suelo y la continuidad de las distintas cadenas alimenticias en los ecosistemas (Reyes- García *et al.*, 2009).

Los hongos se clasifican según su tamaño en micromicetos y macromicetos (Chang y Miles, 2004). Dentro de los primeros, se considera a las levaduras como los primeros en ser domesticados para la elaboración de quesos, cerveza u otros productos alimenticios, actualmente presentan una gran utilidad dentro de numerosos procesos biotecnológicos (Solbrig, 2004). Otro ejemplo es el uso de *Penicillium* spp. en la medicina y de *Saccharomyces* spp. en la elaboración de bioenergéticos, aplicación que se vislumbra como una de las más prometedoras a futuro. En cuanto a los macromicetos u hongos superiores, existen aproximadamente 10.000 especies que producen cuerpos fructíferos los cuales tienen gran importancia para el hombre desde diferentes puntos de vista. Por ejemplo, algunas se emplean en rituales mágico-religioso, otras mantienen un alto valor entre la sociedad por su uso alimentario y comercial, algunas más destacan por su toxicidad, o por las variedades de usos y las formas de preparación para el consumo, e incluso por el porcentaje de la población que los conoce y usa (Kües y Liu 2000, Chang y Miles 2004).

2.4.1 Hongos tóxicos

Es inevitable que los recolectores de hongos comestibles encuentren en su camino hongos tóxicos, pero precisamente el ejercicio de esta práctica ha generado un profundo conocimiento sobre este tipo de organismos, permitiéndoles aprender una gran cantidad de criterios de uso tradicional para diferenciar los hongos comestibles de los tóxicos (Ramírez-Terrazo y Montoya, 2012). Estos criterios se basan en las características físicas y organolépticas de los hongos, que las personas han aprendido de forma empírica, desafortunadamente muchos de estos criterios carecen de fundamento científico. Lo más importante es que la mayoría de las personas de las zonas rurales de nuestro país tienen por costumbre no consumir aquellos hongos que no conocen, no importando si otra persona los consume (Montoya, 1992).

Los envenenamientos producidos por los hongos presentan un amplio espectro de efectos o síndromes, desde simples alergias hasta severas intoxicaciones, dependiendo en ocasiones de la sensibilidad de las personas que sufren tales micetismos, sin embargo, los hongos venenosos que provocan la muerte al ser ingeridos no presentan mayor variabilidad de una persona a otra en su drástica acción (Guzmán, 1980).

Se llama micetismo a la intoxicación o envenenamiento causado por la ingestión de macromicetos que contengan o produzcan sustancias que no pueden ser descompuestas por los procesos digestivos y metabólicos del hombre, y que al ser absorbidas provocan reacciones que pueden causar desde un cuadro diarreico sin complicaciones hasta la muerte por destrucción hepática y/o renal (Ruiz *et al.*, 1999; Montoya *et al.*, 2007).

Las micotoxinas causantes de los principales tipos de intoxicaciones se dividen en cinco categorías de acuerdo con los efectos que producen y el momento de inicio de los síntomas; los micetismos de los cinco síndromes son: faloidiano, parafaloidiano, muscarínico, gastrointestinal y cerebral (Ruiz *et al.*, 1999; Montoya *et al.*, 2007).

De todas las intoxicaciones por hongos aproximadamente un 5% tiene un desenlace fatal, sin embargo, la letalidad asociada al micetismo faloidiano es aún más elevada pues puede llegar a presentar hasta un 90% de muertes (Pardavé *et al.*, 2006).

2.4.2 Hongos neurotrópicos

Los hongos con propiedades alucinógenas, conocidos también como alucinantes, sagrados, mágicos, niños santos, pequeños que brotan, divinos, adivinadores, psicotrópicos, neurotrópicos o enteogénicos, entre otras muchas denominaciones, han sido altamente estimados por la humanidad desde tiempos inmemoriales (Guzmán, 1997; Rodríguez *et al.*, 2012).

Se tienen registros de ellos en pinturas rupestres localizadas en África y Europa, las cuales podrían tener hasta 7000 años de antigüedad (Samorini, 1999; Akers *et al.*, 2011; Guzmán 2012). De acuerdo con las interpretaciones, el uso de los hongos que aparecen en dichas pinturas pudo haber sido médico-espiritual, tal como lo era entre varios grupos originarios de México en la época prehispánica (Guzmán, 1994; 2011), y posteriormente se redescubrieron en la década de 1950 por los esposos Wasson, particularmente los del género *Psilocybe*, siendo de esta manera como nace la Etnomicología (Ruan-Soto, 2007).

Los hongos alucinógenos fueron temas centrales en los conceptos de salud, espiritualidad y bienestar hasta que fueron demonizados y rechazados (Winkelman, 2007). Dicho legado estuvo a punto de perderse para Occidente. Sin embargo, los alucinógenos fueron gradualmente “redescubiertos” por los antropólogos, farmacólogos, etnobotánicos y etnomicólogos desde los inicios del siglo XX (Rodríguez *et al.*, 2012).

En sus investigaciones, los Wasson refieren a estos hongos como “enteógenos” término que más se usa en las publicaciones modernas, y viene del griego *entheos*= dios dentro. Lo que implica que la acción de estos hongos está ligada con un dios que entra en el cuerpo al ingerir tales hongos. Esta interpretación se ha mezclado con el Dios de varias religiones, por lo que no es conveniente la aceptación de tal denominación, porque la ciencia debe de ser ajena a cualquier religión (Estrada, 2010; Guzmán, 2011). Guzmán (2011) los nombran neurotrópicos, esta denominación parece ser la más apropiada, porque alude a algo que en el organismo se mueve (de tropos, movimiento) hacia el sistema nervioso central, al referirse a la psilocibina que producen estos hongos.

Actualmente los hongos neurotrópicos siguen siendo muy importantes dentro de la biota de México, ya que es el país con más especies alucinógenas a escala mundial; hasta ahora, se han contabilizado 53 especies, destaca el Estado de Oaxaca ya que en éste se han registrado más del 50% de dichas especies (Ramírez- Cruz *et al.*, 2006). Bautista-Gonzales, (2013) considera que todos los hongos psicotrópicos son potencialmente medicinales, debido a que algunos se han utilizado con estos fines, tanto en la medicina tradicional como en la académica, otros podrían ser aprovechados en algún momento en ambos modelos de atención médica.

2.4.3 Hongos comestibles

El consumo de los hongos se remonta varios siglos antes de nuestra era, sobre todo en los países asiáticos donde están estrechamente ligados a una cultura ancestral. Los hongos silvestres comestibles junto con otros productos forestales no maderables (PFNM) (alimento, medicina, materiales de construcción, leña, etc.), constituyen un elemento relevante en la alimentación y los ingresos de varios millones de hogares en todo el mundo, por lo que gobiernos e instituciones han comenzado a valorar su importancia dentro de las comunidades rurales (Zamora-Martínez y Nieto de Pascual-Pola, 1995; Mariaca *et al.*, 2001), por su aporte a la autosuficiencia alimentaria y la obtención de ingresos (Pastor 2002, Pérez-Moreno *et al.* 2010).

La recolección de los Hongos Comestibles Silvestres (HCS) es una actividad basada en el uso múltiple de los recursos naturales, que junto con otras actividades, forma parte de la estrategia alimentaria y de subsistencia de las personas que habitan las zonas boscosas del país (Tacón y Palma 2006, Estrada-Martínez *et al.* 2009). Esta actividad se ha realizado desde épocas prehispánicas y está integrada por componentes económicos, sociales, culturales y ecológicos. Los hongos comestibles además de sus propiedades culinarias, tienen propiedades medicinales o terapéuticas (Cappello- García, 2003) y quizá por tal motivo, son muy apreciados en diversas comunidades. Incluso se plantea que pueden representar una alternativa real en el manejo de los bosques de México (Montoya, 2005). El consumo de hongos se mantiene vigente gracias a las tradiciones que pasan de generación en generación. En el país se han encontrado reportes de comestibilidad de 371 especies (Garibay-Orijel, y

Ruan-Soto, 2014) siendo el país de Latinoamérica con mayor cantidad de hongos silvestres comestibles registrados (Andrade *et al.* 2012).

Los hongos comestibles son valorados por su sabor y alto valor nutritivo, ya que presentan: ergosterol, ácidos grasos poliinsaturados (ácido linoleico, ácido araquidónico) y reducidas cantidades de ácidos grasos saturados. Son particularmente ricos en carbohidratos, fibra dietética, β -glucanos, β -proteoglucanos, heteroglucanos, quitina, peptidoglucanos, así como minerales (potasio, calcio, fósforo, magnesio, hierro, zinc, sodio), vitaminas (niacina, tiamina, riboflavina, biotina, ácido ascórbico) y enzimas hidrolíticas que ayudan a la digestión (tripsina, maltasa).

Además del contenido nutricional, los hongos comestibles son considerados como genuinos nutraceuticos o alimentos funcionales ya que mejoran la salud y reducen el riesgo de contraer enfermedades (Piqueras, 2004). Este tipo de alimentos están desempeñando un papel cada vez más importante en los países occidentales debido a las ventajas que generan al reducir los gastos médicos y mejorar los hábitos alimenticios de la población (Smith y Sullivan, 2002). Sin embargo, los pobladores de México no aprovechan en su totalidad las especies susceptibles de ser consumidas por falta de tradición o por el temor a sufrir intoxicaciones, influenciados en gran medida por la carencia de datos científicos que validen sus propiedades benéficas sobre la salud (Moreno-Fuentes *et al.*, 1994).

2.4.4 Hongos medicinales

Mucho antes que los humanos habitaran el planeta, ya existían hongos que producían metabolitos con actividad terapéutica y a pesar de que existen antiguas evidencias de su uso, no se sabe con exactitud donde inicio su aprovechamiento con fines medicinales; sin embargo, se plantea que el uso de los hongos medicinales precede al de los hongos comestibles (Smith y Sullivan, 2004).

El uso de los hongos medicinales incluye importantes elementos culturales determinados por el género, origen, ocupación y grupo étnico de la población rural, así como una extensa

comprensión sobre su ingestión, propiedades y el uso en rituales (Guzmán 1994, Garibay-Orijel *et al.*, 2012, Ruan-Soto *et al.*, 2013).

A nivel mundial se conocen alrededor de 651 especies de basidiomicetos que contienen metabolitos con actividad terapéutica (Wasser, 2002; Piqueras, 2004); sin embargo, muchos de ellos no han sido utilizados como medicinales, aunque potencialmente lo son. Pese a que en los últimos años se han publicado listas con cientos de taxones fúngicos utilizados en la medicina, tanto en el ámbito tradicional como en el académico, aún no hay un número determinado de especies; tan solo en China se han registrado alrededor de 540 especies (Yu-Cheng *et al.*, 2009).

México es de los países destacado en el uso tradicional de los hongos (Guzmán, 1990), especialmente en el área central del país, donde la rica herencia cultural prehispánica ha favorecido que algunos pueblos antiguos y actuales mantengan una tradición arraigada sobre el uso medicinal de los hongos, así como de su incorporación en festividades, ceremonias mágico-religiosas y en general en su cultura. El uso tradicional de los hongos en nuestra cultura es muy antiguo, Sahagún en el Códice Florentino muestra el papel que desempeñaban los hongos en la cultura precolombina por sus propiedades culinarias y farmacológicas o psicoterapéuticas (Cappello-García, 2003).

En general, se puede afirmar que todos los hongos comestibles son potencialmente medicinales, ya que todos contienen ergosterol; metabolito con múltiples efectos terapéuticos; sin embargo, existen hongos medicinales que no son comestibles, tal es el caso de especies pertenecientes a los géneros *Phellinus*, *Scleroderma* y *Ganoderma* (Kobori *et al.*, 2007; Bautista-Gózales, 2014).

2.4.5 Propiedades terapéuticas de los hongos

Durante mucho tiempo, los hongos han jugado un papel importante en varios aspectos de la vida humana. Por ejemplo los hongos comestibles, se han utilizado ampliamente en la cocina, o por las propiedades psicotrópicas de varias especies han empujado a los hongos a formar parte de algunas religiones. Incluso los hongos tóxicos han tenido una relevancia importante,

debido a sus compuestos, que evolucionaron naturalmente como una forma de protección contra su consumo (Bala *et al.*, 2011).

Los hongos silvestres y cultivados presentan una gran diversidad de biomoléculas con propiedades nutricionales y/o medicinales y debido a estas propiedades, han sido reconocidos como alimentos funcionales, así como una fuente de medicamentos y nutraceuticos. Los cuerpos fructíferos, el micelio y las esporas acumulan una gran variedad de metabolitos bioactivos con propiedades antimicrobianos, antifúngicos, antivirales, antiinflamatorios, antioxidantes, antihipertensivos, antitumorales, citostáticos, cardiotónicos, y estimulantes del sistema inmunitario (Brizuela *et al.*, 1998; Borchers *et al.*, 2004; Lindequist *et al.*, 2005; Kalač *et al.*, 2009).

El uso frecuente de los hongos se basa en tres supuestos principales: primero, se utilizan como parte de la dieta regular debido a su valor nutricional (ya que son ricos en agua, minerales, proteínas, fibras e hidratos de carbono además que son alimentos de bajo contenido calórico) en segundo lugar, los cuerpos fructíferos son apreciados por su delicadeza (son potenciadores de la palatabilidad del sabor y aroma cuando se asocia a otros alimentos), y en tercer lugar, los hongos son ampliamente utilizados con fines medicinales, debido a que el interés por promover la salud humana se realiza desde hace miles de años (Kalač *et al.*, 2009; Poucheret *et al.*, 2006; Öztürk *et al.*, 2011; Xu *et al.*, 2011)

En particular, los hongos silvestres son una fuente de antibióticos naturales, los cuales pueden ser compuestos de alto peso molecular o de bajo peso molecular. Los compuestos de bajo peso molecular son principalmente metabolitos secundarios tales como: terpenos, sesquiterpenos, esteroides, antraquinonas, derivados de ácido benzoico, y quinolinas, pero también metabolitos primarios tales como ácido oxálico. Los compuestos de alto peso molecular incluyen principalmente péptidos y proteínas (Alves *et al.*, 2015).

2.5 Metabolitos primarios

Para poder vivir, crecer y reproducirse los organismos necesitan transformar una gran variedad de compuestos orgánicos. Estas transformaciones requieren energía que la obtienen en forma de ATP y la presencia de sistemas enzimáticos. El conjunto de reacciones específicas mediante el cual un organismo fabrica sus propias sustancias y mantiene la vida se conoce como metabolismo (Gutiérrez y Estévez, 2009).

Las moléculas más importantes para la vida son las proteínas, los hidratos de carbono, las grasas y los ácidos nucleicos. A pesar de las características extremadamente diferentes de los distintos seres vivos, las rutas generales para modificar y sintetizar estas sustancias son esencialmente las mismas para todos con muy pequeñas modificaciones. Estos procesos se conocen como Metabolismo Primario y los compuestos implicados en las diferentes rutas se conocen como metabolitos primarios (Gutiérrez y Estévez, 2009).

2.6 Metabolitos secundarios

En ciertas condiciones ambientales, la falta de nutrientes puede restringir el crecimiento. En tales condiciones carbohidratos no estructurales tienden a ser acumulados provocando que el proceso del metabolismo se altere dando origen a una serie de mecanismos bioquímicos alternos al metabolismo primario llamado metabolismo secundario (Bryant *et al.*, 1995).

Los metabolitos secundarios parecen ser innecesarios para el crecimiento del organismo, más bien parecen estar dirigidos a funciones como comunicación intercelular, defensa y competencia con otros organismos.

El metabolismo secundario es una característica común de los hongos y consiste en varios procesos enzimáticos que convierten unos pocos intermediarios importantes del metabolismo primario en una amplia gama de productos. La mayoría de los metabolitos secundarios tienen su origen en un número pequeño de rutas intermedias, por ejemplo:

- La ruta de Acetil-CoA es quizás la importante siendo precursor de terpenos esteroides, ácidos grasos y policétidos (Bryant *et al.*, 1995).
- Fosfoenolpiruvato y eritrosa 4-fosfato se inician la síntesis de metabolitos secundarios aromáticos a través de la vía del ácido shikimico, ruta por la cual se sintetizan aminoácidos aromáticos
- Al ruta del ácido mevalónico da origen algunos otros metabolitos secundarios.

2.7 Actividad antibacteriana

El desarrollo de antibióticos ha sido uno de los logros científicos más importantes de los últimos setenta años. Estos compuestos actúan de diferente manera, por ejemplo interfiriendo en procesos metabólicos o en las estructuras de los organismos. El mecanismo de acción se relaciona principalmente con la interferencia en la síntesis de la pared celular, en la modificación de la permeabilidad de la membrana plasmática, en la interferencia de replicación de los cromosomas o en la síntesis de proteínas (Koch, 2003; Fuchs, 2004; Tenover, 2006).

Algunos antibióticos son activos contra ciertos tipos de bacterias y un nivel celular determinado. Por ejemplo: los antibióticos antiparietales actúan en la fase de síntesis de peptidoglucanos de las bacterias. Algunos ejemplos de este grupo son: la fosfomicina, la D-cicloserina, los glicopéptidos (bacitracina, vancomicina, teicoplanina) y beta-lactámicos (penicilinas, cefalosporinas, carbapenémicos, monobactámicos). Otro grupo de antibióticos son la ascocistina y la daptomicina que actúan a nivel de la membrana celular, estos compuestos son lipopéptidos, activos únicamente contra las bacterias gram-positivas (Ginsburg, 2002; Silveira *et al.*, 2006)

Los aminoglucósidos, las tetraciclinas, los macrólidos, las oxazolidinas, quinupristinas, la clindamicina y el cloranfenicol inhiben la síntesis proteica de las bacterias al interferir con subunidades ribosómicas de 30S o 50S. Las quinolonas, las rifampicinas y el metronidazol inhiben la síntesis de ácidos nucleicos. Sulfonamidas y trimetoprim son antibióticos

antimetabólicos que inhiben la cadena metabólica de ácido p-aminobenzoico (PABA) esencial para el crecimiento celular bacteriano (Craig, 2004).

Los cuerpos fructíferos y el micelio de diversos hongos contienen compuestos con actividad antimicrobiana (Akyuz y Kirbag, 2009). La producción de compuestos antimicrobianos por los hongos, no es muy usual, pero esto puede ser debido a que ellos los necesitan para competir contra bacterias u otros microorganismos para colonizar el sustrato o sobrevivir en su ambiente natural (Santoyo *et al.*, 2009).

2.7.1 Clasificación y mecanismos de acción de los antibióticos

En la práctica diaria, las clasificaciones que más se utilizan son las que se basan en la acción del antibiótico sobre la bacteria, es decir, según su mecanismo de acción y de acuerdo al efecto que ejercen sobre la bacteria (Cordiés *et al.*, 1998). La acción de un antibiótico se mide en términos de espectro de acción sobre las bacterias. Se observa que algunos antibióticos actúan en un sector restringido (grupos selectos de microorganismos), por esta razón se les denomina de espectro limitado. Cuando actúan contra un mayor número de bacterias se les denomina de amplio espectro y cuando lo hacen en un solo grupo de bacterias se les llama de espectro selectivo (Patiño, 2003).

Los antibióticos actúan inhibiendo cualquiera de los tres mecanismos de la biosíntesis de la pared celular (Opal y Cohen 1999; Nuñez, 2008):

Inhibición de la fase citoplasmática.- Actúan en el citoplasma bacteriano inhibiendo la síntesis de los precursores del pentapéptido N- acetilmurámico. En este proceso actúa la fosfomicina, la daptomicina, y la cicloserina.

Inhibición de la fase de transporte de precursores.- Actúan dentro de la membrana citoplasmática impidiendo la d-fosforilación de sus precursores. La bacitracina es ejemplo de antibióticos.

Inhibición de la organización estructural del péptidoglicano.- Mediante este mecanismo se bloquea selectivamente la transferencia del polímero lineal a la pared celular existente, interfiriendo en la organización estructural definitiva del péptidoglicano, evitando su polimerización al ligarse a las proteínas fijadoras de Penicilina, como lo hacen todos los beta-lactámicos. En tanto que los glucopéptidos evitan la polimerización del péptidoglicano en la proximidad de la membrana citoplasmática bacteriana.

2.7.2 Acción bactericida

La importancia de los antibióticos bactericidas (aquellos que eliminan a las bacterias) frente a los antibióticos bacteriostáticos (que inhiben el crecimiento de bacterias) en el tratamiento de infecciones se ha debatido durante muchos años (Finberg *et al.*, 2004). La actividad bactericida no es una propiedad invariable de un antibiótico, sino que puede depender del organismo y las condiciones de crecimiento. Por ejemplo, *Staphylococcus aureus* no es eliminada por los inhibidores de la síntesis de proteínas, el cloranfenicol y la eritromicina, que son clásicos agentes bacteriostáticos y que se dirigen directamente a los ribosomas bacterianos. *Streptococcus pneumoniae*, por el contrario, es un organismo intrínsecamente muy susceptible, es fácilmente eliminado por estos y otros antibióticos que son bacteriostáticos contra especies de bacterias más resistentes. Como la mayoría de las bacterias, *S. aureus* y *S. pneumoniae* son eliminados por los inhibidores de la pared celular, la penicilina y vancomicina, así como las fluoroquinolonas, que son clásicos agentes bactericidas. Sin embargo, estos agentes *in vitro* no producen un 99.9% de eliminación de los enterococos dentro de un plazo de 24 horas, y se le considera por lo tanto a ser bacteriostático contra estos organismos (Daza-Pérez, 1998).

Muchos antibióticos, y especialmente el beta-lactámico, requieren que las células estén en crecimiento y en división celular para tener una acción bactericida. Además, el lento crecimiento afecta la actividad bactericida. Las condiciones en el hospedero en el sitio de infección que no favorecen el crecimiento o el bajo crecimiento de la bacteria se negaran a la acción bactericida de un antibiótico. Por lo tanto, si un efecto bactericida o bacteriostático

se logra puede variar dependiendo no sólo en los antibióticos, sino también el organismo y condiciones de crecimiento (Opal y Cohen 1999; Chambers, 2003).

2.7.3 Resistencia antibacteriana

En los años recientes la producción de nuevos antibióticos ha disminuido de forma considerable y ha surgido la resistencia a estos como un problema de consecuencias impredecibles, sobre todo por la aparición en las bacterias, virus, hongos y protozoarios de mecanismos defensivos con el fin de evadir la acción destructiva de estas sustancias (Fernández-Riverón *et al.*, 2003). La resistencia bacteriana, es la capacidad natural o adquirida de una bacteria de permanecer refractaria a los efectos bactericidas o bacteriostáticos de un antibiótico (Greca, 2000).

Las bacterias, por su gran capacidad de adaptación, pueden desarrollar mecanismos de resistencia frente a antibióticos. Existe una resistencia natural o intrínseca en las bacterias si carecen de células diana para un antibiótico. La resistencia adquirida es la realmente importante desde un punto de vista clínico: es debida a la modificación de la carga genética de la bacteria y puede aparecer por mutación cromosómica o por mecanismos de transferencia genética. La primera puede ir seguida de la selección de las mutantes resistentes, pero la transmitible es la más importante, estando mediada por plásmidos, transposones o integrones, que pueden pasar de una bacteria a otra (Daza-Pérez, 1998). Las mutaciones pueden ser sólo cambios microevolutivos, es decir que comprometen un par de nucleótidos en la estructura del DNA, mientras que los macroevolutivos involucran grandes segmentos del mismo incluyendo inversiones, duplicaciones, inserciones, deleciones y transposiciones (Greca, 2000).

Las bacterias han desarrollado varios mecanismos para resistir la acción de los antibióticos. El primero de ellos es por la posición de un sistema de expulsión activa del antimicrobiano, una especie de bomba expulsora que utilizan las bacterias para la excreción de productos residuales o tóxicos, con la que puede eliminar además muchos de estos agentes antibacterianos. El segundo, se realiza mediante la disminución de la permeabilidad de la pared bacteriana, con la pérdida o modificación de los canales de entrada (porinas). La

producción de enzimas inactivantes de los antibióticos constituye el tercer mecanismo. De esta forma son inhibidos los aminoglicósidos, el cloranfenicol por la acetil transferasa, y el caso más típico, el de las beta-lactamasas, para el grupo de los betalactámicos. En años recientes la aparición de beta lactamasas de amplio espectro que incluyen a las antibetalactamasas (ácido clavulánico, sulbactam y tazobactam), dificulta el uso de estos antibióticos tan utilizados. Por último, algunos antibióticos ejercen su acción contra las bacterias uniéndose a una proteína esencial para la supervivencia de estas. La resistencia bacteriana se produce cuando el germen modifica la proteína diana, y cambia su función o produce enzimas distintas (Becerra *et al.*, 2009).

Una misma bacteria puede desarrollar varios mecanismos de resistencia frente a uno o muchos antibióticos y del mismo modo un antibiótico puede ser inactivado por distintos mecanismos de diversas especies bacterianas, todo lo cual complica de sobremanera el estudio de las resistencias de las bacterias a los distintos antimicrobianos (Opal y Cohen 1999).

Cuadro 1. Actividad antibacteriana de hongos comestibles

Microorganismo	Género de hongo	Resultados	Metabolitos Secundarios	Extracto	Autor
<i>Bacillus subtilis</i> y <i>B. cereus</i>	<i>Agaricus, Armillaria, Boletus, Clitocybe, Cortinarius, Gloeoporus, Hexagonia, Hydnum, Hypholoma, Lactarius, Laetiporus, Lentinus, Lepista, Leucopaxillus Meripilus, Phellinus., Pleurotus, Rhizopogon, Sarcodon, Sparassis, Tricholoma</i>	Zona de Diámetro = 5–21mm; Concentración mínima inhibitoria = 5 µg/mL – 100 mg/mL	Peptaibol Boletusin, Peptaibol Chrysospermin, Enokipodinas, Ganomicina, Ácido oxálico, ácido benzoico	Extracto metanólico, etanólico, acetato de etilo,	Hirasawa <i>et al.</i> (1999); Ishikawa <i>et al.</i> (2001); Nicholas <i>et al.</i> (2001); Sheena <i>et al.</i> (2003); Yamac <i>et al.</i> (2006); Barros <i>et al.</i> (2008); Kalyoncu <i>et al.</i> (2010); Öztürk <i>et al.</i> (2011).
<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Agaricus, Boletus edulis, Cantharellus cibarius, Clitocybe, Cortinarius, Ganoderm, Hydnum, Hygrophorus, Hypholoma, Lactarius, Laetiporus, Lentinus, Lepista, Leucopaxillus, Macrolepiota, Meripilus, Meripilus, Morchella, Navesporus, Nothopanus, Paxillus, Phellinus, Ramaria, Sparassis, Suillus</i>	Zona de Diámetro = 8–24mm; Concentración mínima inhibitoria = 5 µg/mL – 50 mg/mL	Peptaibol Boletusin, Peptaibol Chrysospermin and Peptaibol Chrysospermin (<i>Cordyceps sinensis</i>); Austrocortilutein, Austrocortirubin y Torosachrysona (<i>Cortinarius basirubencens</i>); Phycion, Erythroglauцин y Emodin (<i>Cortinarius</i> sp.); Plectasin, Coloratin	clorofórmico y acuoso.	Smânia <i>et al.</i> , (1995); Hirasawa <i>et al.</i> , (1999); Mothana <i>et al.</i> , (2000); Dulger <i>et al.</i> , (2002); Lee <i>et al.</i> , (2004);

					Beattie <i>et al.</i> ,(2010).
<i>Escherichia coli</i>	<i>Agaricus, Armillaria, Boletus, Cantharellus, Clitocybe, Cortinarius, Ganoderma, Hydnum, Irpex, Lactarius, Laetiporus, Lentinus, Lepista, Macrolepiota, Marasmius, Meripilus, Morchella, Navesporus, Paxillus, Phellinus, Pleurotus, Suillus</i>	Zona de Diámetro = 0.8–0.19mm; Concentración mínima inhibitoria = 0.625 mg/mL–100000 g/L	Terpenos, Sesquiterpenos	Extracto metanólico, etanólico, clorofoómico, acetónico y xileno	Smânia <i>et al.</i> ,(1995); Hirasawa <i>et al.</i> ,(1999); Bender <i>et al.</i> ,(2003); Quang <i>et al.</i> , (2006); Solak <i>et al.</i> (2006); Turkoglu <i>et al.</i> , (2007); Barros <i>et al.</i> , (2008);Kalyoncu <i>et al.</i> , (2008).
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	<i>Agaricus, Ganoderma, Lactarius, Lentinus, Lepista, Pleurotus, Ramaria</i>	Zona de Diámetro =0.4–0.10mm; Concentración mínima inhibitoria = 0.5 mg/mL	Ácido oxálico	Extracto metanólico, etanólico,	Ishikawa <i>et al.</i> , (2001); Shittu <i>et al.</i> , (2005); Tambekar <i>et al.</i> , (2006); Hearst <i>et al.</i> , (2009);

				clorofórmico, acetónico y xileno	Quereshi <i>et al.</i> , (2010); Öztürk <i>et al.</i> , (2011).
<i>Salmonella typhi</i>	<i>Agaricus, Armillaria, Clitocybe, Ganoderma, Hygrophorus, Irpex, Lepista, Meripilus, Morchella, Navesporus, Paxillus, Phellinus, Pleurotus, Sparassis, Suillus.</i>	Zona de Diámetro = 6–16mm; Concentración mínima inhibitoria=15.62–125 µg/mL	Esteroides, antraquinonas, derivados del ácido benzoico y quinolinas		Opal <i>et al.</i> , (1999) Tambekar <i>et al.</i> , (2006); Barros <i>et al.</i> , (2008); Hearst <i>et al.</i> , (2009); Quereshi <i>et al.</i> , (2010)
<i>Proteus vulgaris</i>	<i>Pleurotus ostreatus</i>	Zona de Diámetro = 12mm; Concentración mínima inhibitoria=75000 g/L	Proteínas (<i>Cordyceps sinensis</i>); Fraction B (<i>Pycnoporus sanguineus</i>)	Extracto metanólico y etanólico	Ishikawa <i>et al.</i> , (2001); Tambekar <i>et al.</i> , (2006); Kalyoncu <i>et al.</i> , (2008); Öztürk <i>et al.</i> , (2011).

3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ✓ ¿Qué especies de hongos con uso medicinal reconocen las personas de la zona de estudio?
- ✓ ¿Las especies de hongos silvestres comestibles con atributos medicinales en los sitios de estudio mantienen relación con los registrados en la literatura?
- ✓ ¿Las especies de hongos medicinales que las personas identifican empíricamente presentan alguna actividad antibacteriana?
- ✓ ¿Es posible que la presencia de metabolitos secundarios en los hongos medicinales se asocie directamente a su actividad antibacteriana?

4. JUSTIFICACIÓN

Los hongos han sido utilizados desde épocas prehispánicas como alimento y medicina tradicional (Guzmán, 1990), particularmente los hongos medicinales han tenido una importancia medular en el desarrollo de las sociedades y sus relaciones con el entorno natural (Wasson y Wasson, 1957; Garibay-Orijel *et al.*, 2010).

Sin embargo, el potencial medicinal de los hongos comestibles y el conocimiento tradicional vinculado a ellos ha sido poco investigado. Por ello en el presente estudio se registrará, difundirá y respaldará científicamente el conocimiento tradicional sobre los hongos medicinales, evitando así la posible pérdida del conocimiento; de esta manera se rescataría una parte importante del patrimonio biocultural, y además podrían conducir al descubrimiento de nuevos fármacos y nutraceuticos.

5. OBJETIVOS

General

Determinar el potencial nutricional y medicinal de hongos silvestres comestibles en localidades del Estado de México.

Específicos

- ✓ Identificar cual o cuales son las especies de hongos silvestres comestibles que presentan atributos medicinales en los sitios de estudio.
- ✓ Identificar cuáles son las especies hongos silvestres comestibles con uso medicinal en el Estado de México
- ✓ Identificar a los hongos de mayor importancia cultural en los sitios de estudio
- ✓ Evaluar la actividad antibacteriana de las especies comestibles con uso medicinal.
- ✓ Determinar los principales grupos de metabolitos secundarios presentes en los extractos metanólicos.

6. MATERIAL Y MÉTODO

6.1 Primera parte: Conocimiento tradicional

6.1.1 Investigación bibliográfica

Para determinar el conocimiento tradicional sobre los hongos comestibles con potencial medicinal. Se realizó una revisión de documentos especializados con información sobre los hongos con atributos medicinales. Paralelamente se consultaron estudios etnobotánicos realizados con plantas medicinales (Sandoval, 2002) para analizar las técnicas empleadas y el tipo de información obtenida a partir de ellas. Bautista-Gonzales (2013) menciona que este procedimiento sirve para diseñar un método para obtener información sobre el conocimiento tradicional de hongos medicinales, de esta forma se pueden obtener algunas técnicas, formularios de entrevistas, tipos de preguntas y su objetivo que aplicados al tema de estudios facilitarían la investigación y la construcción del formulario o entrevista a realizar.

6.1.2 Zona de estudio y entrevistas a informantes

El estudio se llevó a cabo en los mercados semanales o ‘tianguis’ de Amanalco de Becerra, Santa María del Monte (Zinacantepec) y Villa Cuauhtémoc (Otzolotepec). Debido a que los sitios de estudios tienen raíces indígenas, se espera que exista un arraigado conocimiento micológico procedente de la época prehispánica y que las personas reconozcan un mayor número y formas de hongos, en particular aquellos con uso medicinal

Para la obtención de la información de los hongos comestibles con potencial medicinal se realizaron entrevistas semiestructuradas a comerciantes que vendan dichos ejemplares.

Los cuestionarios que se emplearon para obtener la información de los hongos en la zona de estudio se construyeron considerando las preguntas realizadas por Ruan-Soto *et al.*, (2006) y Bautista-Gonzales, (2013). El cuestionario se estructuró con tres secciones: 1) datos del informante (nombre, edad, sexo, ocupación y domicilio), 2) listado libre de hongos conocidos

por el informante y 3) preguntas abiertas sobre recolecta y conocimiento de las especies de hongos utilizados.

Para esclarecer la nomenclatura y taxonomía tradicional se utilizaron estímulos fotográficos de hongos que mostraron diferentes hábitos, vida y morfologías, y posteriormente se realizaron ejercicios de agrupamiento.

Las entrevistas se aplicaron a personas adultas, en especial aquellas que pertenecen a tercera edad, o en el mejor de los casos a personas conocedoras y que aplican la medicina tradicional, de este modo la información obtenida es de excelente calidad y confiabilidad, tal como lo mencionan Hurtado-Rico *et al.*, (2006) debido a que existe una relación directamente proporcional entre la experiencia y el conocimiento.

6.1.3 Sistematización de la información

La información de los hongos medicinales obtenida a partir de la revisión bibliográfica y de las entrevistas se organizó en columnas, con la siguiente información: especie, uso específico en la medicina tradicional, fórmula de preparación, población donde se registró dicho uso (Jiménez-Ruiz *et al.*, 2013; Bautista-Gonzales *et al.*, 2014).

6.1.4 Obtención e Identificación taxonómica de las especies

Los hongos con potencial medicinal se compraron en los sitios mencionados anteriormente y se consideraron de acuerdo a lo reportado por las entrevistas. Posteriormente se identificaron las especies mediante una caracterización macro y microscópica y fueron resguardados en el Acervo Micológico del Centro de Investigación en Recursos Bióticos (CIRB).

La caracterización macroscópica se realizó tomando en cuenta las estructuras que constituyen al esporoma como el píleo, láminas, estípites, así como, el substrato en que se desarrolla (Delgado *et al.*, 2005).

Para definir las características microscópicas, se realizaron preparaciones al microscopio tomando una pequeña muestra del esporoma seco, y se depositó en un portaobjetos, con una

gota de KOH al 10% (para hidratarlo) y posteriormente Rojo Congo al 10% (para su tinción). Las preparaciones se observaron en el microscopio óptico Motic Digital DMB3-223 (aumento 40x y 100x) considerando características como: esporas, hifas, basidios y ascas (Cifuentes *et al.*, 1986; Delgado *et al.*, 2005).

6.2 Segunda parte: Actividad biológica de los hongos

6.2.1 Colección de ejemplares

Las especies evaluadas fueron: *Lactarius indigo*, *Lactarius deliciosus*, *Amanita caesarea*, *Amanita novinupta*, *Cantarellus*, *Clitocybe gibba*, *Boletus edulis* y *Helvella lacunosa*. Estas fueron seleccionadas de acuerdo a lo reportado por la literatura y a un trabajo previo realizado de hongos silvestres comestibles y medicinales Sánchez-García *et al.*, (2020).

6.2.2 Preparación de extractos

Los ejemplares obtenidos se deshidrataron a temperatura ambiente, posteriormente 200 gr de hongos secos se trituraron y se maceraron con metanol en proporción 1:5, bajo agitación constante de 150 rpm durante 72 h. Luego, los extractos se filtraron y se concentraron a presión reducida utilizando un rotavapor (Buchi, USA) acoplado a una bomba de vacío; el extracto fue llevado a sequedad, y una vez estando libre de solvente se empleó en los ensayos *in vitro*.

6.2.3 Preparación de las cepas

Se utilizaron las bacterias *Staphylococcus aureus* (ATTC 25923), *Enterococcus faecalis* (ATTC), *Salmonella enterica* (ATTC 43971) y *Escherichia coli* (ATCC 25922). Los microorganismos se activaron en medio de cultivo Agar nutritivo (An) (BD Bioxon, México) y se incubaron a 37 °C durante 24 horas.

6.2.4 Concentración Mínima Inhibitoria (MIC)

La MIC se determinó mediante el ensayo de microdilución utilizando microplacas estériles de 96 pozos, con fondo en U. La preparación del inóculo consistió en un estriado en placa de agar TSA y se incubaron a 37 °C durante 24 horas. De este cultivo se tomó una colonia aislada la cual se colocó en 2 mL de caldo MH; posteriormente se determinó su absorbancia a 625 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Evolution 60S, Thermo Scientific, USA); diluciones o concentraciones fueron llevadas a cabo hasta obtener una absorbancia de 0.08 a 0.1. Posteriormente, se tomaron 10 µL de ésta última preparación y se agregaron a 10 mL de caldo MH para obtener una concentración final de 1x10⁵ UFC/mL cada pozo fue inoculado con 50 µL del inóculo preparado más 50 µl de cada extracto/antibiótico/agua. Posteriormente, las microplacas se se llevaron a incubación a 37 °C durante 20 horas, tiempo en el que se leyó absorbancia de las mismas a una longitud de onda de 630 nm, utilizando un lector de microplacas (H READER 1, HLab, México).

El extracto se solubilizó en agua destilada estéril para obtener las concentraciones finales siguientes: 0.01, 0.375, 0.75, 1, 3, 8,32 y 64 µg/mL. Como control positivo de inhibición bacteriana fue empleado el antibiótico cloranfenicol, con una concentración de 15 µg/mL, como control negativo se utilizó agua destilada estéril. Un pozo adicional fue preparado con 50 µl de caldo MH libre de bacteria más 50 µl de agua destilada estéril, el cual fue empleado como control interno de calidad del experimento. Cada tratamiento consistió de 8 pozos.

$$\% \text{ de inhibición} = \frac{(\text{absorbancia control negativo} - \text{absorbancia del extracto})}{\text{absorbancia control negativo}} \times 100$$

6.2.5 Análisis Estadístico

Los datos obtenidos de la actividad antibacteriana se analizaron con ANOVA de uno y dos factores para detectar las diferencias obtenidas del extracto sobre las bacterias utilizadas.

6.2.6 Análisis Micoquímico

Para identificar los principales grupos de metabolitos secundarios presentes en los hongos en cuestión, se realizó un análisis preliminar micoquímico. Las pruebas químicas preliminares se aplicaron para detectar alcaloides, flavonoides, azúcares reductores, saponinas, taninos, quinonas, cumarinas, glicósidos cardiacos y sesquiterpenlactonas (Domínguez, 1998; Valencia del Toro y Garín-Aguilar, 2010).

6.2.6.1 Alcaloides

Se tomó una porción del extracto metanólico y se adicionó entre 5 a 10 mL de ácido clorhídrico al 10%, posteriormente se calentó a ebullición por cinco minutos, el filtrado se dividió en 3 tubos de ensaye con la misma cantidad.

Tubo 1.- Se adicionó una gota del reactivo Dragendorff, la prueba se considera positiva si se forma un precipitado naranja.

Tubo 2.- Se adicionó una gota del reactivo Sonneschain, la prueba se considera positiva si se forma un precipitado naranja.

Tubo 3.- Testigo.

6.2.6.2 Flavonoides

Para esta prueba se disolvió 0.5 mL del extracto en 2 mL de etanol absoluto y se dividió en tres tubos. El tercero fue el testigo.

Tubo 1.- Reacción de Shinoda.- Se adicionaron 2 gotas de ácido clorhídrico concentrado, una coloración roja indica la presencia de auronas o chalconas. En caso de haber cambio, se colocó un trozo de magnesio metálico, si se forma una coloración naranja a rojo, indica la presencia de flavonas; si es rojo, flavonoles y si es magenta, flavononas.

Tubo 2.- Reacción de hidróxido de sodio al 10 %: Se adicionaron tres gotas de hidróxido de sodio; una coloración amarilla a roja, indica presencia de xantonas y flavonas; de café a naranja de flavonoles; purpura a rojiza presencia de chalconas y azul de antocianinas.

Tubo 3.- Testigo.

6.2.6.3 Glicósidos cianogénicos

En un tubo de ensaye con 0.5 ml de extracto se adicionó 1 ml de ácido clorhídrico al 10% y 1 mL de cloroformo. Se calentó el tubo a baño María colocando en la boca del tubo una tira de papel filtro impregnado con reactivo Grignard. La formación de una mancha rosa a rojo indica prueba positiva.

6.2.6.4 Azúcares reductores

Se tomaron 2 mL del extracto, midiendo el pH y adicionará hidróxido de sodio al 10% (si es necesario) hasta obtener un pH de 11. Se dividió el extracto en dos tubos de ensaye para las siguientes pruebas.

Tubo 1.- Reacción de Fehling.- Se adicionó 0.5 mL de solución Fehling A y 0.5 mL de solución Fehling B y un 1 mL de agua destilada.

Tubo 2.- Reacción de Benedict.- Se adicionó 0.5 mL de reactivo Benedict y 1 mL de agua destilada.

Tubo 3.- Se preparó un blanco para cada tubo, sin extracto. Los cuatro tubos se colocaron en baño María por 15 minutos. Cuando existan azúcares en los tubos que contenían el extracto se formaba un precipitado de color naranja a rojo.

6.2.6.5 Saponinas

Reacción de Rosenthaler.- A 2 mL del extracto, se adicionaron dos gotas del reactivo Rosenthaler y se estratificaron con dos gotas de ácido sulfúrico concentrado. En caso de formase una coloración violeta, se considera positiva por la presencia de saponinas triterpenoidales.

6.2.6.6 Taninos

A 5 ml del extracto se adicionaron 2 mL de agua destilada y 3 gotas de cloruro de sodio al 2%, se calentó a ebullición por un minuto, enfriando y filtrando. La solución se dividió en cuatro tubos de ensaye, el cuarto se consideró como testigo.

Tubo 1.- Reacción con gelatina.- Se adicionaron 2 gotas de reactivo de gelatina. La formación de un precipitado blanco indica la presencia de taninos.

Tubo 2.- Reacción de Cloruro férrico.- Se adicionó una gota de cloruro férrico al 1%, la formación de coloraciones azul a negro indica la presencia de derivados del ácido gálico y coloraciones verdes derivados del catecol.

Tubo 3.- Se adicionó una gota de ferricianuro de potasio al 1%, la formación de una coloración azul indica la presencia de compuestos fenólicos.

Tubo 4.- Testigo.

6.2.6.7 Quinonas

Se colocaron 2 mL del extracto en una cápsula de porcelana, este se concentró a sequedad, posteriormente el extracto se dividió en tres porciones.

Prueba 1.- Reacción de hidróxido de amonio.- Se adicionó una gota de hidróxido de amonio concentrado al extracto. Se consideró positiva la prueba para antroquinonas al tener la presencia de una coloración roja que aparece en los dos primeros minutos.

Prueba 2.- Reacción con ácido sulfúrico.- Se adicionó una gota de ácido sulfúrico concentrado a otra porción del extracto. La formación de una coloración roja indica la presencia de antraquinonas.

Prueba 3.- Testigo.

6.2.6.8 Cumarinas

Prueba 1.- Reacción de Erlich.- Se colocó 0.5 mL de extracto en una cápsula de porcelana, después se concentró y agregaron dos gotas del reactivo de Erlich y una gota de ácido clorhídrico concentrado. La coloración naranja indica presencia de cumarinas.

Prueba 2.- Reacción con hidróxido de amonio.- Se concentró una porción del extracto y se le adicionó 0.5 ml de etanol y dos gotas de hidróxido de amonio concentrado. Se considera positiva la prueba si se presenta una fluorescencia azul-violeta.

6.2.6.9 Glicósidos cardiacos

Se transfirieron 2 mL de extracto a una cápsula de porcelana y se concentró la tercera parte de su volumen original. Esta se dividió en tres porciones en una placa con muescas.

Prueba 1.- Reacción legal.- Se dejó evaporar el disolvente y se adicionarán 2 a 3 gotas de piridina, una gota de nitroprusiato de sodio al 5% y 4 gotas de hidróxido de potasio, una coloración roja poco estable indica la presencia de glucósidos cardiacos

Prueba 2.- Reacción de Baljet.- Se agregaron 3 gotas del reactivo de Baljet. Una coloración naranja a rojo oscuro indica la presencia de glucósidos cardiacos.

6.2.6.10 Sesquiterpenlactonas

Reacción con hidroximato férrico.- Se agregó una porción del extracto en una cápsula de porcelana, se adicionaron dos gotas de clorhidrato de hidroxilamina 2N y una gota de hidróxido de potasio 2N en metanol. Posteriormente la mezcla se calentó a ebullición de 1 a 2 minutos, se dejó enfriar y se llevó a pH de 1 con ácido clorhídrico 0.5 N. Se adicionó una gota de cloruro férrico 1%. Las coloraciones rojas, violeta o rosa indican presencia de Sesquiterpenlactonas.

7. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el presente trabajo se muestran de acuerdo a la metodología establecida. Corresponden a las publicaciones conformadas por dos artículos

El producto 1, es un artículo aceptado en la Revista Agro Productividad, el cual contempla el conocimiento de hongos silvestres comestibles con uso medicinal en el Estado de México

El producto 2 es un artículo en preparación para su envío a la Revista Biotecnia en el que se presenta el estudio sobre la actividad antibacteriana *in vitro* de extractos metanólicos de los hongos comestibles silvestres *Cantharellus subalbidus*, *Infundibulicybe gibba*, *Lactarius indigo* y *L. deliciosus*.

En cada caso se incluye la carta de aceptación o de envío, de los artículos

7.1 ARTÍCULO 1: Edible, medicinal wild mushrooms: A study in Estado de México



San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México a 12 de octubre 2020

AGRO: 139/2020

Asunto: aceptación

Dr. Burrola-Aguilar, C.;

Universidad Autónoma del Estado de México. Campus El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca. Estado de México. México. CP. 50200

Estimado Dr. Burrola-Aguilar, C.:

Por este medio, confirmo que el artículo: **Hongos silvestres comestibles con uso medicinal en el Estado de México**; de los autores: **Sánchez-García, D.; Burrola-Aguilar, C.; Zepeda-Gómez, C.; Estrada-Zúñiga, M.E.**; fue sometido a arbitraje y edición, y es aceptado para su publicación en el Año 13, Vol. 13, Núm. 10 del año 2020 en la revista Agro Productividad. La revista sigue desarrollando cambios de forma gradual, con el fin de aumentar la visibilidad nacional e internacional, y se viene ajustando a partir de septiembre 2018 a los estándares del CRMICYT-Conacyt. Está incorporada a los índices Conacyt, EBSCO, CENGAGE LEARNING, INC., además de Zoological Records en *Master Journal List de Clarivate Analytics* (antes ISI), *PERIODICA-Biblat*, CABI y CAB Abstracts, Latindex (Directorio y Catálogo) y recientemente REDIB.

Atentamente

DR. JORGE CADENA IÑIGUEZ

Director AGRO Productividad

Editorial Colegio de Postgraduados

C.c.p. expediente

Oficina Central. Guerrero # 9, Esquina Avenida Hidalgo, 96251 San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México.
595-9284427. 595-9284703 jccadena@colpos.mx; jccadena@gmail.com

Sánchez-García, D., C. Burrola-Aguilar, C. Zepeda-Gómez, M.E. Estrada-Zúñiga. 2020. Edible, medicinal wild mushrooms: A study in Estado de México. *Agro Productividad* 13(10): 57-62. Colegio de Posgraduados. México. ISSN: 2594-0252 <https://doi.org/10.32854/agrop.v13i10.1746> publicado. 1 octubre 2020

Edible, medicinal wild mushrooms: A study in Estado de México

Sánchez-García, David, Burrola-Aguilar, Cristina*, Zepeda-Gómez, Carmen, Estrada-Zúñiga, María Elena

Universidad Autónoma del Estado de México. Campus El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca. Estado de México. México. CP. 50200.

ABSTRACT

Objective: To identify edible mushroom species with medicinal uses in Estado de México.

Design/Methodology/Approach: Based on the bibliographic review of local ethnomycological inventories, weekly market visits, semi-structured interviews with vendors, and the collection and taxonomic identification of mushrooms, information was gained regarding medicinal mushroom nomenclature, local knowledge and cultural importance.

Results: A list of 36 edible mushroom species was compiled, which can be divided into 11 categories of use, mainly in treating digestive and circulatory illnesses.

Study Limitations/Implications: This is a descriptive and exploratory study of edible mushrooms with medicinal uses, and therefore it is necessary to include more empirical and scientific evidence from other similar cases.

Findings/Conclusions: There is limited knowledge on medicinal fungi species, implying that they are underexploited as a resource among local inhabitants. *Lycoperdon perlatum* and *Lactarius indigo* were cited as having the highest quantity of medicinal uses.

Key words: Traditional knowledge, ethnomycology, macrofungi, order of mentio

INTRODUCTION

It is estimated that between 70 % and 80 % of the population in developing countries depends on plants and mushrooms as an alternative for treating various diseases (Luitel et al., 2014). Mushrooms have been widely used in traditional oriental medicine, which has had a global

reach (Yu-Cheng et al., 2009). Medicinal wild mushrooms are part of Mexico's biological and cultural diversity. Their use has been recorded since pre-Colombian times and is manifested in practices still preserved by some groups who consume mushrooms or use them for their stimulating, medicinal, and hallucinogenic properties (Herrera 1992; Ruan-Soto and Ordaz-Velázquez, 2016). In recent years, more ethnomycological studies with biological, ecological or cultural aspects have been carried out in temperate and tropical regions. However, inventory work is still far from complete. From this stems the importance of recording the diversity of medicinal mushrooms (Aguirre-Acosta et al., 2014) and therapeutic treatments based on their use (Barros et al., 2008)

Approximately 371 species of wild mushrooms are consumed in Mexico (Garibay-Orijel et al., 2014) and 252 species in Estado de México (Burrola-Aguilar et al., 2012). Regardless, their medicinal knowledge and use have been scarcely documented. Bautisa-González (2013) reports the use of 121 species in six localities in the country; Guzmán (2008) describes 73 species for treating 46 illnesses. Vázquez (2012) mentions 21 species in the Northern Sierra of Puebla; Jiménez et al., (2013) highlight three species in Oaxaca. With respect to ethnomycological studies in the area, various contributions have been made to medicinal knowledge. In Estado de México, 16 species have been reported (Guzmán et al., 2009), three species in Acambay, (Estrada-Torres and Aroche, 1987), and one species in Ocoyoacac (García, 2009). Facing this lack of information, it is important to document the traditional knowledge associated with local fungi resources, not only because they contribute biodiversity, but also because they are part of the country's culture (Heywood, 2011). Because of this, the objective was to identify species of edible mushrooms with medicinal uses in Estado de México as a contribution to regional inventories about their use, value, and protection, not only of the mushrooms themselves, but also of their habitat and of the culture where they are used.

MATERIALS AND METHODOLOGY

The information on edible mushrooms and their medicinal use was obtained from the following literature: Estrada-Torres and Aroche (1987); Nava and Valenzuela (1997); Juárez (1999); Mariaca et al. (2001); Arteaga and Moreno (2006); Pérez-Moreno et al. (2008); Estrata et al., (2009); Frutis and Valenzuela (2009); García (2009); Guzmán et al. (2009);

Franco et al. (2012); BautistaGonzales (2013); Lara-Vázquez et al. (2013); San Román (2014); Domínguez et al. (2015); and Jasso-Arriaga et al. (2016, 2019). Information regarding treated illnesses was organized according to the Manual of the International Statistical Classification of Disease, Injuries, and Death Causes (WHO, 2016). To collect additional information on medicinal mushrooms in the central region of Estado de México and areas with high traditional use, visits were carried out to weekly markets in Amanalco, Villa Cuauhtémoc and Santa María del Monte during the months of August to October. During field visits, semi-structured individual interviews were conducted with vendors and collectors to gain information on nomenclature and local knowledge. The reported medicinal mushrooms were collected, dehydrated and characterized macroscopically and microscopically. Keys, specialized literature, and mycological guides were used for taxonomic identification. Order of mention was used to estimate the cultural importance of the mushrooms, obtained according to Moreno-Fuentes (2006).

RESULTS AND DISCUSSION

In all, 36 species of edible and medicinal wild mushrooms were registered, corresponding to 21 families (Table 1). These species represent 15.8% of the total reported for Estado de México (Burrola-Aguilar et al., 2012) and can be considered functional foods (Ruan-Soto and OrdazVelázquez, 2016). Eleven categories of use were identified, the most frequent being those related to diseases of the digestive tract, including signs and symptoms. Metabolic, dermatologic, inflammatory, and nervous system conditions were mentioned to a lesser degree. The mushroom species could have from one to eleven different uses. Eighty-three percent (83%) of species were used in more than one way, and from those, 52% were used for four or more purposes. *Lycoperdon perlatum* took first place in terms of medicinal uses (nine different illnesses), followed by *Lactarius indigo* with eight uses.

Table 1. Edible mushroom species with medicinal uses reported in the literatura.

Familia	Especie	Uso medicinal	Familia	Especie	Uso medicinal
PHYLUM ASCOMYCOTA					
Pyronemataceae	<i>Aleuria aurantiaca</i> ^F	0	Morchellaceae	<i>Morchella esculenta</i> ^A	5
Helvellaceae	<i>Helvella crispa</i> ^F	1,3,5,8,9	Pyronemataceae	<i>Otidea onotica</i> ^A	0
	<i>Helvella lacunosa</i> ^F	1,3,5,8,9	Pezizaceae	<i>Peziza vesiculosa</i> ^A	0
PHYLUM BASIDIOMYCOTA					
Amanitaceae	<i>Amanita basii</i> ^F	1,5,9,11.	Hygrophoropsidaceae	<i>Hygrophoropsis aurantiaca</i> ^F	3,5,9
	<i>Amanita tecomate</i> ^{D,E}	11		<i>Lactarius deliciosus</i> ^E	4,5,6,8,9,10
	<i>Amanita vaginata</i> ^F	1,5,9.		<i>Lactarius indigo</i> ^{B,E,F}	1,2,3,5,8,9,10,11
Diplocystaceae	<i>Astraeus hygrometricus</i> ^E	2,7	Russulaceae	<i>Lactarius pubescens</i> ^F	4,5,6,8,9,10,11
Boletaceae	<i>Boletus aestivalis</i> ^E	1,4,5,6,8,9,10		<i>Lactarius salmonicolor</i> ^E	4,5,6,8,9,10,11
	<i>Boletus edulis</i> ^{E,F}	1,4,5,6,8,9,10		<i>Russula</i> sp. ^F	3,5,9
	<i>Boletus pinophilus</i> ^{E,F}	1,4,5,6,8,9,10		<i>Lycoperdon caudatum</i> ^{E,F}	2,3,5,8,9,10
	<i>Leccinum rugosiceps</i> ^F	5,8,9,10	Lycoperdaceae	<i>Lycoperdon perlatum</i> ^{B,E,F}	2,3,5,6,7,8,9,10,11
	<i>Calvatia cyathiformis</i> ^{B,E,F}	2,5,9,11	Lyophyllaceae	<i>Lyophyllum secc. Difformia</i> ^F	3,5,9
Agaricaceae	<i>Macrolepiota procera</i> ^F	3,5,9		<i>Pleurotus opuntiae</i> ^E	4,9,10
Cantharellaceae	<i>Cantharellus cibarius</i> ^F	3,5,8,9,10	Pleurotaceae	<i>Pleurotus smithii</i> ^F	4,9,11

Gomphidiaceae	<i>Chroogomphus rutilus</i> ^E	3,5,8,9,10	Gomphaceae	<i>Ramaria sp.</i> ^{E,F}	5,9
Tricholomateceae	<i>Infundibulicybe gibba</i> ^{E,F}	1,3,4,5,8,9,10	Suillaceae	<i>Suillus granulatus</i> ^F	5,10
	<i>Gymnopus sp</i> ^C	0		<i>Suillus luteus</i> ^F	5,11
Geastraceae	<i>Geastrum triplex</i> ^E	2,3,6,10			
	<i>Geastrum triplex</i> ^{E,F}	2,3,6,10			

Source: AChio et al., 1988; BEstrada-Torres and Aroche, 1987; CVillarruel-Ordaz et al., 1993; DGarcía, 2009; E Guzmán et al., 2009; F BautistaGonzales, 2013. Medicinal use: 0. Undefined; 1. Musculoskeletal; 2. Skin; 3. Respiratory; 4. Metabolic; 5. Symptoms; 6. Culture-bound syndrome; 7. Nervous; 8. Urinary; 9. Digestive; 10. Circulatory; and 11. Anti-inflammatory.

The more frequently treated conditions were related to the digestive tract (28 species). Twenty-seven (27) species were useful for treating fever, pain on different parts of the body, nausea, etc., associated with different diseases or ailments (signs-symptoms). Regarding genitourinary problems, 19 species were registered. Various species described as medicinal in this study have also been reported in other research. Bautista-Gonzales and Herrera (2019) suggest that in Mexico, more than 350 fungi species are used in traditional medicine to treat 150 conditions of different systems of the body and ailments related to maternity, “the evil eye,” and fright or shock. In Santa María del Monte, 11 interviews were carried out, of which just one person used *Cantharellus subalbidus* (white chanterelles known as “calabacitas”) to treat digestive problems. For this, the mushroom is grilled and eaten twice a day. In Villa Cuauhtémoc, of the 13 interviews conducted, five people mentioned using *Amanita sp.* and *A. novinupta* (“tecomates”) to treat renal problems: “The mushroom is boiled and the cooking water is drunk at room temperature”. *Boletus edulis*, known as “cemita”, is used to alleviate digestive problems, chiefly in children with upset stomachs; it is prepared by dehydrating and then grinding it, then “the powder is taken with one teaspoon of olive oil, twice a day.” It is also used to reduce cholesterol, whether grilled or sautéed, boiled with epazote, tomato, onion, and chili pepper (green or dried). In Amanalco, 14 interviews were conducted and only two people reported the medicinal use of “tecomate” (*Amanita sp.* and *A. novinupta*), but did not specify preparation. In general, the interview respondents indicated that they have

heard of the medicinal uses of mushrooms, but did not know them, as was reported by Lara-Velázquez et al. (2013). The potential of the mushrooms studied can be deduced from research showing their high content in B2, B3, and D vitamins, iron, fiber, iodine, potassium, and water. Their consumption may be beneficial for healthy skin, hair, nails, bones, teeth, eyesight, as well as the nervous and digestive systems (Cano-Estrada and Romero-Bautista, 2016). Their medicinal value includes anticancer, antibiotic, antioxidant, antithrombotic, and antidiabetic properties, as well as cholesterol and hypertension reducing properties (Chang and Miles, 2004). In that regard, the use of Gasteromycetes stands out for treating skin conditions (Guzmán, 2008; Bautista-Gonzales, 2013; Bautista-Gonzales and Herrera, 2019). Boletes are used for conditions of the skeletomuscular system, such as rheumatic diseases or pain in the tendons of extremities and fingers (Guzmán, 1994; 2008; Bautista-Gonzales, 2013). *Boletus edulis*, *B. aestivalis* and *B. pinophilus* are used for headache, rheumatism, and as purgative (Guzmán, 2008; Bautista-González, 2013). *Lactarius deliciosus* demonstrates antimicrobial activity (Barros et al., 2007). Mushrooms of the genus *Amanita*, mentioned both in interviews and in bibliographic searches and considered favorites of traditional gastronomy (Romero-Bautista, 2016), possess antiinflammatory properties (Guzmán, 1994; 2008; Bautista-González, 2013). *Cantharellus subalbidus* is used for stomach ailments. Bautista-González (2013) reports that *C. cibarius* is used for treating gastrointestinal disorders, headache, and fever, which agrees with the information obtained, in addition to possessing antitumor, antioxidant, and antibacterial properties (Barros et al., 2008; Queiros et al., 2009; Yu-Cheng et al., 2009).

With regards to traditional mycological knowledge in communities, learning occurs at an early age. Eighty percent of interviewees learn about mushrooms between the ages of 5 and 13, during which time the children acquire identification skills and general knowledge, although adults can still gain knowledge. Collecting season is from May to October. The interview respondents indicated that the mushrooms are harvested directly and are consumed once a week (21%), two to three times per week (58 %), or more than three times per week (21%). The mushrooms are prepared by sautéing (66%), in stews (24%), and eaten raw (10%). For preservation, *Helvella spp.*, *Infundibulicybe spp.* and *Morchella spp.* are strung together. The harvesting process varies according to localities. In Amanalco and Santa María del Monte, women are in charge of this process (65 and 60%, respectively). Meanwhile, in

Villa Cuauhtémoc, men make up the majority who carry out this activity (55 %). The collectors directly commercialize the mushrooms, and in general, women are in charge of sales (80%) and are the knowledge-bearers, having learned from their parents (67%), grandparents (31%), and aunts or uncles or other relatives (2%). As Jasso-Arriaga et al. (2019) mention, culinary knowledge is shared by older women during commercialization. Income is used to cover food costs or to buy objects of personal use (Estrada-Flores et al., 2019). Order of mention (OM) was used to estimate cultural importance and to identify the most relevant mushrooms for the population (Table 2). For Villa Cuauhtémoc, “enchilado” mushrooms had the highest value with 40.12%, while in Amanalco, the white “gachupines” (31.47%), and in Santa María del Monte, the “patas de pájaro” (20.48%). The cultural importance of mushrooms is associated with their nutritional importance, and those who are knowledgeable describe them as “natural meat” with a flavor similar to chicken, fish, or frog, depending on the species (Jasso-Arriaga *et al.*, 2019). Despite the high diversity of edible wild mushrooms in Estado de México, this resource is not used by local residents for medicinal purposes. This is evidenced by the low number of species mentioned in the interviews, which is consistent with other localities. Ruan-Soto et al. (2009) found that the Lacandon people in Chiapas only use one medicinal species; or in Oaxaca, Garibay-Orijel et al. (2006) mentioned that the Zapotec do not know any medicinal uses for mushrooms.

Table 2. Traditional names with greatest cultural importance in study sites.

	Villa Cuauhtémoc		Amanalco de Becerra		Santa María del Monte	
	Common name	Order of mention	Common name	Order of mention	Common name	Order of mention
1	Enchilado	40.12	Gachupín blanco	31.87	Pata de pájaro	20.48
2	Mazorca	31.95	Gachupín negro	30.62	Oreja	16.74
3	Mantecado café	30.35	Tecomate amarillo	27.72	Enchilado	15.03
4	Oreja	28.96	Trompetas	26.25	Clavo	14.82
5	Mantecado amarillo	28.33	Mantecados	23.16	Señorita	14.44
6	Amargo	26.75	Cemas	22.63	Pancitas	12.96
7	Cemita	22.91	Patitas de pájaro	22.5	Tecomate amarillo	11.94
8	Tejamanil	18.1	Clavitos	22.08	Corneta	6.6
9	Clavo	17.46	Orejas	21.25	Bolita	6.26
10	Cornetita	6.86	Elotitos	20.85	Elote	3.67
11	Soldadito	5.62	Ternerita	18.85	Xocoyol	3.52
12	Gachupín	4.7	Bombón	18.7	Güila	3.02
13	Pata de pájaro	4.37	Xocoyol	18.05	Escobeta	2.09
14	Escobeta	3.1	Señorita	17.55	Trompeta	2.06
15	Oyamel	1.58	Enchilado	15	Gachupín güero	2.01
16	Queta	1.2	Amarillo	14.02	Ternerita	1.34
17	Duraznillo	0.69	Enchilado azul	7.11	Gachupín negro	1.18
18	Negrito	0.44	Oreja blanca	4.93	Tejamanil	1.1
19	Pajarito	0.28			Colita de ratón	0.69
20	Sopita	0.26				

CONCLUSIONS

There is limited knowledge concerning the number of fungi species with medicinal uses in Estado de México, implying that this resource is under-exploited by its inhabitants. The 36 medicinal species that are used represent an alternative for treating problems related to the digestive tract, the circulatory system, and signs and symptoms; all highly prevalent diseases and some with grave health consequences and high medical treatment costs. Unfortunately,

knowledge of medicinal properties in mushrooms is being lost with the passing of generations, therefore additional studies are needed to supply more information on the value of species of medicinal interest, in addition to phytochemical and pharmacological analyses to insure their efficiency and innocuity.

REFERENCES

- Aguirre-Acosta, E., M. Ulloa, S. Aguilar, J. Cifuentes & R. Valenzuela. 2014. Biodiversidad de hongos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: S76-S81. DOI:10.7550/rmb.33649
- Arteaga, B. & C. Moreno. 2006. Los hongos comestibles silvestres de Santa Catarina del monte, estado de México. *Revista de Chapingo. Series ciencias forestales y del ambiente*. 12(02), 125- 131. <https://www.chapingo.mx/revistas/forestales/contenido>.
- Barros, L., B.A Venturini, P. Baptista, L.M. Estevinho & I.C.F.R Ferreira. 2008. Chemical composition and biological properties of Portuguese wild mushrooms: a comprehensive study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56: 3856–3862. DOI:10.1021/jf8003114
- Bautista-González, J. 2013. Conocimiento tradicional de hongos medicinales en seis localidades diferentes del país. Facultad de Ciencias. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bautista-Gonzales, J.A. & J. A. Herrera. 2019. Hongos y líquenes en la medicina tradicional mexicana. *Arqueología Mexicana*, 87, 62-65. <https://arqueologiamexicana.mx/ediciones-especiales/e87-hongos-en-mexico>
- Burrola-Aguilar, C., R. Garibay-Orijel & M. Hernández-Téllez. 2012. Los hongos comestibles silvestres del estado de México: propuesta para su aprovechamiento. En Sánchez, J.E. & G. Mata (eds) *Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica, investigación y desarrollo en un entorno multicultural*. Colegio de la Frontera Sur. pp 39-50.
- Cano-Estrada A. & B.L. Romero. 2016. Valor económico, nutricional y medicinal de hongos comestibles silvestres. *Revista Chilena de Nutrición*, 43(1), 75-80 DOI:10.4067/S0717-75182016000100011.
- Chang, S. T. & P.G. Miles. 2004. *Mushrooms: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect, Environmental Impact*. CRC Press, Boca Raton. 451 pp.

- Chio, R.E., I. Frutis y G. Guzmán. 1988. Hongos del Estado de México. *Revista Mexicana de Micología* 4, 97-113. DOI: 10.7550/rmb.3364911692012000400019&script=sci_arttext&tlng=es
- Domínguez, D., J.I. Arzaluz, C. Valdés-Valdés, Cristóbal & P. Romero. 2015. Uso y manejo de hongos silvestres en cinco comunidades del Municipio de Ocoyoacac, Estado de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 18 (2),
- Estrada-Flores, J.G., J. Martínez-Hernández, M.G. Valdés-Piña, C.M. Arriaga-Jordán & B. Albarrán-Portillo. 2019. Recolección de hongos comestibles silvestres en el contexto del pastoreo de alta montaña en la localidad de Agua Blanca en el Nevado de Toluca, México. *Agro productividad*, 12(5), 17-23. DOI:10.32854/agrop.v0i0.1399
- Estrada-Torres, A. & R.M. Aroche. 1987. Acervo etnomicológico en tres localidades del municipio de Acambay, Estado de México. *Revista Mexicana de Micología* 3, 109-131. DOI:10.33885/sf.1987.3.691
- Estrada, E., G. Guzmán, D. Cibrián, & R. Ortega. 2009. Contribución al conocimiento etnomicológico de los hongos comestibles silvestres de mercados regionales y comunidades de la sierra nevada (México). *Interciencia* 34, 25-33.
- Franco, M. S., C. Burrola & G. Y. Arana. 2012. Hongos comestibles silvestres: un recurso forestal no maderable del Nevado de Toluca. EON. México. 342 pp.
- Frutis, I. & R. Valenzuela. 2009. Macromicetos. In Ceballos, G., R. List, G. Garduño, R. López, M. Muñozcano, E. Collado y J. Eivin (eds.) *La diversidad biológica del Estado de México. Estudio de Estado*. Toluca, Gobierno del Estado de México. pp. 251-250
- García, B. 2009. Estudio etnomicológico en San Jerónimo Acazulco, municipio de Ocoyoacac estado de México. Tesis de licenciatura. Toluca, México, Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma del Estado de México
- Garibay-Orijel, R. y F. Ruan-Soto. 2014. Listado de los hongos silvestres consumidos como alimento tradicional en México. En Moreno-Fuentes A. y R. Garibay-Orijel (eds.) *La etnomicología en México, estado del arte*. México: CONACYT, UAEH, UNAM.
- Garibay-Orijel, R., M. Martínez-Ramos & J. Cifuentes. 2009. Disponibilidad de esporomas de hongos comestibles en los bosques de pino-encino de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80: 521- 534.
- Guzmán, G. 1994. Los hongos en la medicina tradicional de Mesoamérica y de México. *Revista Iberoamericana de Micología*, 11, 81-85.
- Guzmán, G. 2008. Diversity and use of traditional Mexican medicinal fungi. *International Journal Medicinal Mushrooms* 10, 209-217. DOI:10.1615/IntJMedMushr.v10.i3.20

- Guzmán, G., R. Medel y F. Ramírez. 2009. Hongos. En Ceballos, G., R. List, G. Garduño, R. López, M. Muñozcano, E. Collado y J. Eivin (eds.) La diversidad biológica del Estado de México. Estudio de Estado. Toluca, Gobierno del Estado de México. pp. 251-250
- Herrera, T. 1992. De los que saben de hongos. Ciencias 28, 37-40. <https://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/28/CNS02807.pdf>
- Heywood, V.H. 2011. Ethnopharmacology, food production, nutrition y biodiversity conservation: Towards a sustainable future for indigenous peoples. Journal of Ethnopharmacology 137, 1-15. DOI:10.1016/j.jep.2011.05.027
- Jasso-Arriaga, X., Martínez-Campos A.R. Y. Gheno-Heredia & C. Chávez-Mejía. 2016. Conocimiento tradicional y vulnerabilidad de hongos comestibles en un ejido dentro de un área natural protegida. Polibotánica. 42,167-196. DOI:10.18387/polibotanica.42.9
- Jasso-Arriaga, X., Á.R. Martínez-Campos, & E.J. Dorantes-Coronado. 2019. Más allá de la comercialización de hongos comestibles silvestres en la comunidad de San Antonio Acahualco, México. Agroproductividad, 12 (5), 9-16. DOI:10.32854/agropv0i0.1396
- Jiménez, R.M., J. Pérez-Moreno, J.J. Almaraz-Suárez & M. TorresAquino. 2013. Hongos silvestres con potencial nutricional, medicinal y biotecnológico comercializados en Valles Centrales, Oaxaca. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4(2), 199-21. DOI:10.29312/remexca.v4i2.1232
- Juárez, M. N. 1999. Contribución al estudio taxonómico de los macromicetos (Fungi) y su distribución en el municipio de Valle de Bravo, Estado de México. México, D.F., Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lara-Vázquez, F., A.T. Romero-Contreras & C. Burrola-Aguilar. 2013. Conocimiento tradicional sobre los hongos silvestres en la comunidad otomí de San Pedro Arriba; Temoaya, Estado De México. Agricultura, Sociedad y Desarrollo 10(3), 305-333
- Luitel, D.R., M.B. Rokaya, B.Timsina & Z. Münzbergová. 2014. Medicinal plants used by the Tamang community in the Makawanpur district of central Nepal. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine 10(5): 1-11. DOI:10.1186/1746-4269-10-5.
- Mariaca, R., L.C. Silva & C.A. Castaños. 2001. Proceso de recolección y comercialización de hongos comestibles silvestres en el valle de Toluca, México. Ciencia Ergo Sum. 8:30-40. <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/7932>.

- Moreno-Fuentes, A., 2006. Estudios interculturales y datos cuantitativos. Simposio de etnomicología. IX Congreso Nacional de Micología. Ensenada, Baja California, México.
- Nava, R. y R. Valenzuela. 1997. Los macromicetos de la sierra de Nanchititla. Polibotánica, 21-36.
- <http://www.polibotanica.mx/esp/num5/tema3esp.htm> Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2016). Clasificación estadística internacional de enfermedades y problemas relacionados con la salud (10a ed.). Washington, Estados Unidos.
- Pérez-Moreno, J., M. Martínez-Reyes, A. Yescas-Pérez, A. Delgado & B. Xoconostle-Cázares. 2008. Wild mushroom markets in central Mexico and a case study at Ozumba. *Economic Botany* 62, 425-436. DOI:10.1007/s12231-008-9043-6
- Ruan-Soto, F. & M. Ordaz-Velázquez. 2016. Aproximaciones a la etnomicología maya. *Revista pueblos y fronteras* 10 (20), 44-69. DOI:10.22201/cimsur.18704115e.2015.20.32.
- Ruan-Soto, F., J. Cifuentes, R. Mariaca, F. Limón, L. Pérez-Ramírez, & S. Sierra (2009). Uso y manejo de hongos silvestres en dos comunidades de la Selva Lacandona, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Micología*, 29, 61-72. DOI:10.33885/sf.2009.3.1047
- San Román, A. E. 2014. Conocimiento tradicional en el aprovechamiento de los hongos silvestres en el nevado de Toluca. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma Del Estado De México. Toluca, Estado de México. 81 pp.
- Valencia, I. 2006. Uso tradicional de los hongos silvestres en San Pedro Nexapa, Estado de México. México, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vázquez, M. S. 2012. Macromicetos medicinales Provenientes de la sierra norte de Puebla, México; depositados en el herbario "Gastón Guzmán", ENCB-IPN. *Etnobiología* 10 (2), 34-37. <http://asociacionetnobiologica.org.mx/aem/revista-volumen10-numero-3-resumen-05>.
- Villarruel-Ordaz J., L. Pérez-Ramírez & J. Cifuentes. 1993. Nuevos registros del género *Collybia* y descripción de especies poco estudiadas en México. *Revista Mexicana de Micología*, 9, 139-164.
- Yu-Cheng, D., Y. Zhu-Liang, C. Bao-Kai, Y. Chang-Jun & Z. Li-Wei. 2009. Species diversity and utilization of medicinal mushrooms and fungi in China. *International Journal of Medicinal Mushrooms* 11:287-302. DOI:

7.2 ARTÍCULO 2:

Actividad antibacteriana *in vitro* de extractos metanólicos de los hongos comestibles silvestres *Cantharellus subalbidus*, *Infundibulicybe gibba*, *Lactarius indigo* y *L. deliciosus*

Artículo enviado a la Revista Biotecnia

The screenshot displays the submission interface for the journal Biotecnia. The page title is "1693 / Sánchez-García et al. / Actividad antibacteriana in vitro de extractos metanólicos de los hongos comestibles silvestres Cantharellus su". The interface includes a navigation menu on the left with "Envíos" selected. The main content area shows the "Publicación" tab, with sub-tabs for "Envío", "Revisión", "Editorial", and "Producción". Under "Archivos de envío", there is a list of files: "7048-2 TEXTO DEL DOCUMENTO (2)" with a date of "March 4, 2022" and a description "Texto del artículo". A "Descargar todos los archivos" button is present. Below this, the "Discusiones previas a la revisión" section shows a table with one entry: "Comentarios para el editor/a" by "cburrola" on "2022-03-04 07:40 PM", with "0" responses and a "Cerrado" status.

Nombre	De	Última respuesta	Respuestas	Cerrado
Comentarios para el editor/a	cburrola 2022-03-04 07:40 PM	-	0	<input type="checkbox"/>

***In vitro* antibacterial activity of methanolic extracts from the wild edible mushrooms**

Cantharellus subalbidus, Infundibulicybe gibba, Lactarius indigo and L. deliciosus

David Sánchez-García¹, Cristina Burrola-Aguilar^{1*}, Carmen Zepeda-Gómez², María Elena Estrada-Zúñiga¹

¹Centro de Investigación en Recursos Bióticos, Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Toluca-Ixtlahuaca Km 14.5, San Cayetano. C. P. 50295. Toluca, Estado de México, México.

²Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Toluca-Ixtlahuaca Km 15.5, El Cerrillo Piedras Blancas, C. P. 50200. Toluca, Estado de México, México.

*autor de correspondencia: cba@uaemex.mx

RESUMEN

Ciertas especies de hongos comestibles contienen compuestos bioactivos con una amplia gama de actividades farmacológicas que incluyen agentes antibacterianos. El objetivo del presente estudio fue evaluar la actividad antibacteriana y la concentración mínima inhibitoria de extractos metanólicos de los hongos comestibles *Cantharellus subalbidus*, *Infundibulicybe gibba*, *Lactarius indigo* y *L. deliciosus*. La actividad antimicrobiana se obtuvo mediante la técnica de difusión en disco de Kirby Bauer; la concentración mínima inhibitoria mediante la técnica de microdilución y el análisis preliminar micoquímico se determinó mediante un screening químico para la identificación cualitativa de alcaloides, azúcares reductores, cumarinas, flavonoides, glucósidos cardiacos, glucósidos cianógenos,

quinonas, saponinas, taninos y sesquiterpenlactonas. Se hizo un ANOVA de dos factores para detectar diferencias entre los halos obtenidos por los extractos con un nivel de significancia de 0.05. El extracto metanólico de los cuerpos fructíferos de *C. subalbidus*, *I. gibba*, *L. deliciosus* y *L. indigo* inhibieron significativamente el crecimiento de las bacterias patógenas *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Salmonella enterica* y *Escherichia coli*. El porcentaje de inhibición del crecimiento bacteriano dependió de la bacteria y tipo de extracto y su concentración. En términos generales, el mayor porcentaje de inhibición de todos los extractos analizados se observó a la mayor concentración evaluada (64 µg/ml). El preliminar microquímico mostró la presencia de azúcares, glucósidos cianogénicos, glucósidos cardíacos y sesquiterpenlactonas. Los hallazgos del presente trabajo colocan a las especies como fuentes potenciales de agentes antimicrobianos.

ABSTRACT

Certain species of wild edible mushrooms contain bioactive compounds with a wide range of pharmacological activities including antibacterial agents. The objective of the present study was to evaluate the antibacterial activity and the minimum inhibitory concentration of methanolic extracts from the wild edible mushrooms *Cantharellus subalbidus*, *Infundibulicybe gibba*, *Lactarius indigo* and *L. deliciosus*. The antimicrobial activity was obtained using the Kirby Bauer disk diffusion technique; the minimum inhibitory concentration by the microdilution technique and the preliminary mycochemical analysis was determined by chemical screening for the qualitative identification of alkaloids, reducing sugars, coumarins, flavonoids, cardiac glycosides, cyanogenic glycosides, quinones, saponins, tannins and sesquiterpene lactones. A two-factor ANOVA was performed to detect differences between the halos obtained by the extracts with a significance level of 0.05. The

methanolic extract of the fruiting body of *Cantharellus subalbidus*, *Infundibulicybe gibba*, *Lactarius indigo* y *L. deliciosus*, significantly inhibited the growth of pathogenic bacteria *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Salmonella enterica* and *Escherichia coli*. The percentage of inhibition of bacterial growth depended on the bacteria and type of extract and its concentration. In general terms, the highest percentage of inhibition of all the extracts analyzed was observed at the highest concentration evaluated (64 µg/ml). The mycochemical preliminary showed the presence of sugars, cyanogenic glycosides, cardiac glycosides and sesquiterpene lactones. The findings of this work place the species as potential sources of antimicrobial agents.

Palabras clave: conocimiento tradicional, compuesto bioactivo, alimento funcional, cuerpo fructífero.

Keywords: traditional knowledge, bioactive compound, functional food, fruiting body.

INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo, los hongos comestibles silvestres han sido valorados culturalmente y se han utilizado por sus propiedades nutrimentales y medicinales (Bala, 2011; Quiñónez-Martínez *et al.*, 2014).

En México, dichos hongos son parte de la dieta de diversos grupos étnicos y comunidades rurales, y se han utilizado para el tratamiento de diferentes enfermedades desde tiempos prehispánicos (Ruiz *et al.*, 2013).

Se tiene registro del uso medicinal de más de 350 especies para el tratamiento de cerca de 150 padecimientos (Garibay-Orijel y Ruan-Soto, 2014; Bautista-González y Herrera-Campos, 2019).

Específicamente, en el Estado de México, se ha reportado el consumo de 252 especies de hongos silvestres (Burrola-Aguilar *et al.*, 2012), de las cuales 36 especies tienen propiedades medicinales, destacan *Cantharellus subalbidus*, *Infundibulicybe gibba*, *Lactarius indigo* y *L. deliciosus* (Sánchez-García *et al.*, 2020).

Especies como *Lactarius indigo*, *L. deliciosus* y *Cantharellus cibarius* se utilizan para tratar problemas en la salud relacionados con los sistemas digestivo, respiratorio y urinario. *Infundibulicybe gibba* se ha empleado para el tratamiento de afecciones relacionadas con el metabolismo y con las vías respiratorias, así como como agente antiinflamatorio (Estrada-Torres y Aroche, 1987; Guzmán *et al.*, 2008; Bautista-González, 2013; Sanchez-García *et al.*, 2020).

Diversos estudios han demostrado la actividad antibacteriana de *Amanita spp.*, *Boletus edulis*, *Cantharellus cibarius*, *Clitocybe geotropa*, *Ganoderma lucidum*, *Lactarius deliciosus*, *L. piperatus*, *Lentinula edodes*, *Lepista nuda*, *Leucopaxillus giganteus*, *Pleurotus ostreatus* y *Ramaria botrytis*, contra bacterias patógenas como *Bacillus subtilis*, *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Salmonella typhi* y *Staphylococcus aureus* (Smânia *et al.*, 1995; Hirasawa *et al.*, 1999; Mothana *et al.*, 2000; Dulger *et al.*, 2002; Bender *et al.*, 2003; Sheena *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2004; Quang *et al.*, 2006; Solak *et al.*, 2006; Yamac *et al.*, 2006; Turkoglu *et al.*, 2007; Barros *et al.*, 2008; Beattie *et al.*, 2010; Kalyoncu *et al.*, 2010).

Lo anterior muestra que los hongos silvestres comestibles representan un gran potencial como fuente de compuestos bioactivos (Valencia del Toro *et al.*, 2012), particularmente de aquellos poseedores de efecto antibacteriano.

Actualmente, el uso indiscriminado de antibióticos (ampicilina, amoxicilina, ceftriaxona, entre otros) ha generado la resistencia en diferentes bacterias patógenas (Montero-Recalde *et*

al., 2018), lo que ha resultado en un problema severo de salud pública que afecta a millones de personas al año a nivel mundial (Sharma *et al.*, 2013; Tibyangye *et al.*, 2015).

Entre las bacterias patógenas que se reconocen como agentes causales más comunes de infecciones se encuentran *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus* y *Staphylococcus aureus* (Flores-Mireles *et al.*, 2015; Lagunas-Rangel, 2018). Por tanto, existe una necesidad contundente de buscar nuevos compuestos de efecto antibacteriano, como lo son aquellos producidos por los hongos silvestres comestibles, capaces de producir múltiples compuestos químicos, tales como alcaloides, benzoquinonas, flavonoides, ácidos orgánicos, fenoles, esteroides, entre otros (Buttke *et al.*, 1994; Brizuela *et al.*, 1998; Borchers *et al.*, 2004; Lindequist *et al.*, 2005; Kalač *et al.*, 2009).

El objetivo de este estudio fue determinar la actividad antibacteriana con extractos metanólicos de *Cantharellus subalbidus*, *Infundibulicybe gibba*, *Lactarius indigo* y *L. deliciosus* las cuales son especies de hongos comestibles silvestres consumidas por pobladores de diversas comunidades del Estado de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Las cepas patógenas empleadas para los ensayos antibacterianos *in vitro* fueron *Staphylococcus aureus* (ATTC 25923), *Enterococcus faecalis* (ATTC 29212), *Salmonella enterica* (ATTC 43971) y *Escherichia coli* (ATCC 25922).

Obtención de los cuerpos fructíferos

Los cuerpos fructíferos de los hongos fueron obtenidos a través de recolectas en la comunidad de San Mateo Capulhuac, Municipio de Ocotlán, en el Estado de México; a partir de un muestreo oportunista. Se realizaron recorridos dirigidos con el fin de obtener el mayor número de esporomas por área. Además, se adquirieron algunos cuerpos fructíferos en el tianguis de Amanalco de Becerra, en el municipio de Amanalco. Los hongos obtenidos fueron descritos, fotografiados y deshidratados de acuerdo con los métodos propuestos por Cifuentes *et al.* (1986). Para su determinación se llevó a cabo la caracterización macroscópica y microscópica, y para su identificación se utilizaron claves taxonómicas, literatura especializada y guías micológicas. El material fue depositado en el Centro de Investigación en Recursos Bióticos de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Obtención de extractos

Los cuerpos fructíferos obtenidos de cada especie, se deshidrataron de manera independiente a temperatura ambiente. Posteriormente, los hongos secos (200 g) se maceraron con MeOH en proporción 1:5, posteriormente el macerado fue colocado en agitador orbital a 150 rpm durante 72 h. El extracto resultante se filtró y se concentró hasta sequedad, a presión reducida utilizando un rotavapor (Buchi, USA) acoplado a una bomba de vacío. El extracto seco se almacenó para su posterior utilización en los ensayos antibacterianos *in vitro*. Para la evaluación antibacteriana el extracto se re-suspendió en MeOH (0.2g de extracto en 1000 µl de MeOH).

Actividad antibacteriana *in vitro*

Las bacterias fueron activadas en medio de cultivo Agar nutritivo (An) (BD Bioxon, México) y se incubaron a 37°C durante 24 horas. Una vez transcurrido el período de incubación, se preparó el inóculo a 1×10^5 UFC/mL el cual fue empleado (50 µL de suspensión bacteriana por pozo) para depositar en microplacas estériles de 96 pozos. Posteriormente, se adicionó 50 µL de caldo Müller-Hinton estéril y 0.01, 0.375, 0.75, 1, 3, 8, 32 y 64 µg/ml de extracto metanólico de la solución preparada anteriormente. A continuación, las microplacas se incubaron a 37 °C durante 24 horas, tiempo en el que se leyó la absorbancia de las mismas a una longitud de onda de 490 nm, utilizando un lector de microplacas (H READER 1, HLab, México). Como control positivo de inhibición bacteriana fue empleado el antibiótico cloranfenicol (15 µg/ml), como control negativo se utilizó agua destilada estéril. Un pozo adicional fue preparado con 50 µl de caldo MH libre de bacterias más 50 µl de agua destilada estéril, el cual fue empleado como control interno de calidad del experimento. La inhibición del crecimiento bacteriano se expresó como porcentaje con respecto al control negativo acorde a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de inhibición} = \frac{(\text{absorbancia control negativo} - \text{absorbancia del extracto})}{\text{absorbancia control negativo}} \times 100$$

La concentración mínima inhibitoria (MIC) se determinó como la concentración a la cual no se observó crecimiento microbiano, provocando que no ocurra turbidez en el medio de cultivo de un compuesto que inhibe el crecimiento bacteriano, la MIC se expresó en % de inhibición, por lo tanto en medios de cultivo donde no exista turbidez se asume que esa concentración es la MIC (Horna-Quintana *et al.*, 2005). Cada tratamiento consistió en 8 pozos y fue realizado por quintuplicado.

Análisis Micoquímico

Cada extracto obtenido fue sometido a screening químico para la identificación cualitativa de alcaloides, azúcares reductores, cumarinas, flavonoides, glucósidos cardiacos, quinonas, saponinas, taninos y sesquiterpenlactonas de acuerdo a la metodología tomada de Valencia del Toro y Garín-Aguilar (2010).

Análisis estadístico

Se empleó el software JMP para realizar análisis estadístico del porcentaje de inhibición, utilizando un análisis de varianza (ANOVA), seguido de prueba de prueba de comparación de medias (Prueba de Tukey-Kramer), asumiéndose diferencias estadísticas bajo $p < 0.05$.

RESULTADOS

El extracto metanólico de los cuerpos fructíferos de *C. subalbidus*, *I. gibba*, *L. deliciosus* y *L. indigo* inhibieron significativamente el crecimiento de las bacterias patógenas *E. coli*, *E. faecalis*, *S. aureus*, y *S. enterica*. El porcentaje de inhibición del crecimiento bacteriano dependió de la bacteria y tipo de extracto y su concentración (Figura 1 a-d). En términos generales, el mayor porcentaje de inhibición de todos los extractos analizados se observó a la mayor concentración evaluada (64 $\mu\text{g/ml}$).

De las cuatro especies estudiadas sólo *L. indigo* y *C. subalbidus* presentaron acción inhibitoria contra las bacterias siendo *S. aureus* el microorganismo más susceptible seguido de *E. coli*, por otro lado *S. enterica* y *E. faecalis* fueron las bacterias más resistentes a los extractos.

El extracto de *Lactarius indigo* inhibió el desarrollo de *E. coli* en un 88.4 %, *S. aureus* y *S. enterica* con 87.7% y 68.5% respectivamente, con una concentración 64 $\mu\text{g/ml}$. *E. faecalis* fue resistente al extracto obteniendo sólo un 8% de inhibición, necesitando una mayor

concentración de extracto para poder inhibir el crecimiento de *E. faecalis*. El análisis estadístico mostró diferencias significativas ($p > 0.05$).

En cuanto a los resultados con *L. deliciosus*, se encontró que las cepas no fueron sensibles al extracto de dicha especie, obteniendo sólo un 8% de inhibición contra *E. coli* a una concentración de 64 $\mu\text{g/ml}$ y 5.95 % inhibición con 32 $\mu\text{g/ml}$. Mientras que *E. faecalis* 3.47% a la misma concentración, se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

Con respecto a *I. gibba* el mayor porcentaje de inhibición observado por cada extracto fue para la cepa *S. enterica* (23.45%) a una concentración 64 $\mu\text{g/ml}$, mientras que para la cepa *E. coli* presentó un 19.0% a la concentración 64 $\mu\text{g/ml}$. El menor porcentaje de inhibición observado fue para las cepas *S. aureus* y *E. faecalis* respectivamente, el análisis estadístico demostró que no existen diferencias significativas $p < 0.05$.

Cantharellus subalbidus a una concentración de 64 $\mu\text{g/ml}$ inhibió el crecimiento de las cuatro bacterias, siendo *S. aureus* la más sensible al extracto con 89% y con 85 % en *E. coli*. *S. enterica* y *E. faecalis* las cuales fueron más resistentes al extracto, conforme la concentración se disminuyó el efecto antibacteriano fue menor (figura 1).

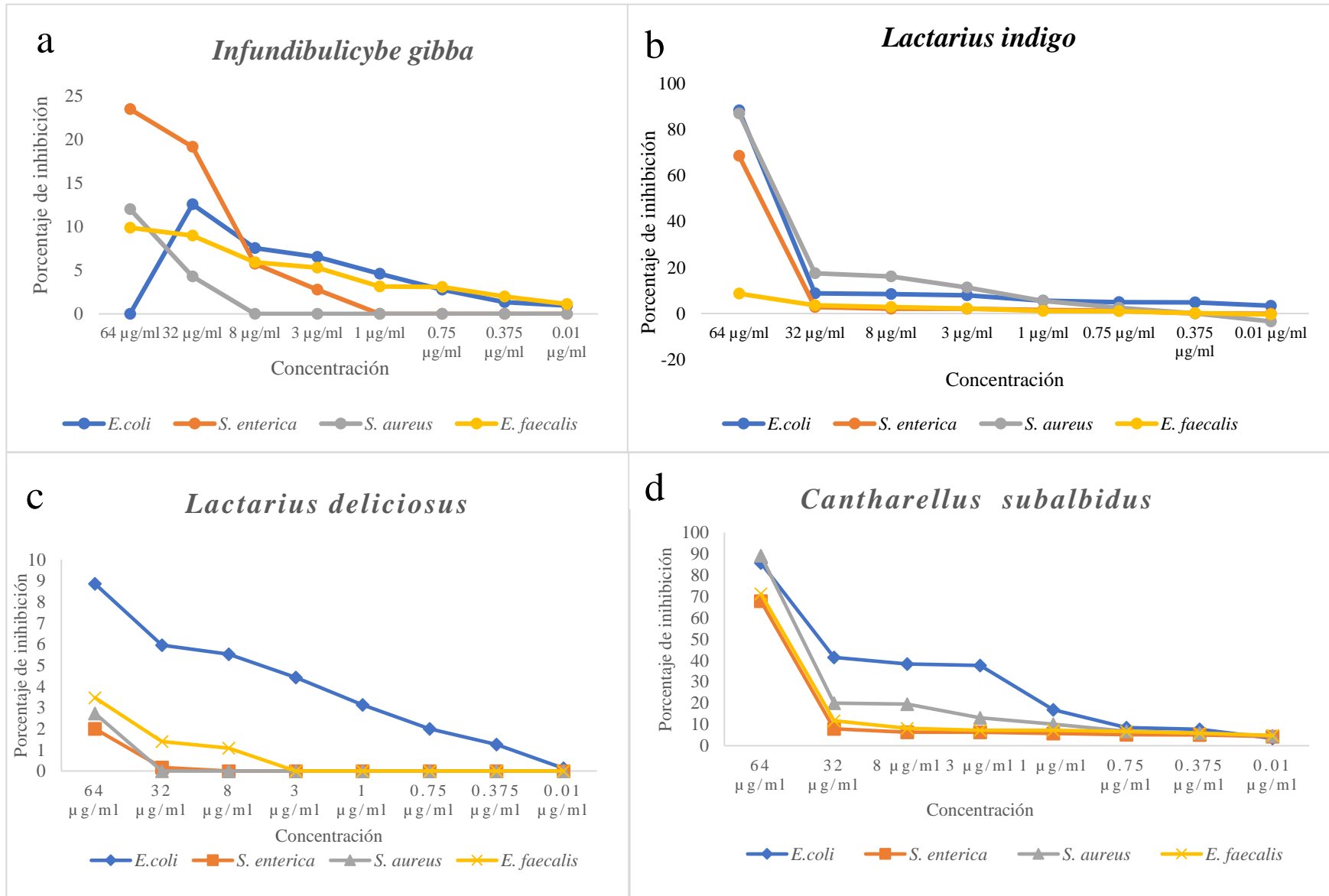


Figura 1.- La concentración mínima inhibitoria de *Cantharellus subalbidus*, *Infundibulicybe gibba*, *Lactarius indigo* y *L. deliciosus*

El screening micoquímico demostró la presencia de flavonoides, glicósidos, taninos, azúcares reductores y lactonas sesquiterpénicas en el extracto metanólico de *C. subalbidus*, *I. gibba*, *L. deliciosus* y *L. indigo*. Además, los extractos de *C. subalbidus* e *I. gibba* también presentaron alcaloides (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis micoquímico de hongos comestibles en extracto metanólico.

	<i>Lactarius</i> <i>indigo</i>	<i>Lactarius</i> <i>deliciosus</i>	<i>Cantarellus</i> <i>subalbidus</i>	<i>Infundibulicybe</i> <i>gibba</i>
Alcaloides	-	-	+	+
Flavonoides	+	+	+	+
Glicosidos	+	+	+	+
Azucares reductores	+	+	+	+
Saponinas	-	-	-	-
Taninos	+	+	+	+
Quinonas	-	-	-	-
Lactonas sesquiterpénicas	+	+	+	+

DISCUSIONES

La actividad antibacteriana puede estar asociada con la especie y sus diferentes compuestos (Nowacka *et al.*, 2014). Estos compuestos pueden seguir diferentes mecanismos de acción por ejemplo: (1) inhibición de la división celular; (2) destrucción del citoplasma y la membrana celular causando que los componentes celulares salgan y tengan cambios en los ácidos grasos y fosfolípidos de la membrana; (3) bacteriólisis; (4) inhibición de la síntesis de proteínas y finalmente; (5) inhibición de síntesis de ADN y ARN (Martínez y Sánchez, 2007). En todas las concentraciones se observó una disminución en el porcentaje de crecimiento conforme aumentaba la concentración del extracto, sin embargo, este resultado pudo deberse muy posiblemente a una degradación del extracto a bajas concentraciones.

Los hongos silvestres comestibles representan una fuente de compuestos bioactivos que puede ser beneficioso para los seres humanos (González-Barranco *et al.*, 2009), se sabe que sus compuestos podrían presentar diferentes actividades farmacológicas como antimicrobianas (Ren *et al.*, 2014).

La actividad antimicrobiana de los extractos metanólicos se ha demostrado en otros estudios, contra bacterias Gram-positivas y Gram-negativas donde los flavonoides son responsables de esta actividad (Talebcontini *et al.*, 2003; Aitken *et al.*, 2011). A pesar de haber determinado flavonoides, los cuales son metabolitos secundarios responsables de efecto antibacteriano en el presente estudio la susceptibilidad bacteriana fue baja.

En las especies evaluadas en este estudio, se detectó la presencia de sesquiterpenlactonas por lo que es probable que estos compuestos en los extractos presentaran actividad antibacteriana; ya que el metabolismo secundario de los Basidiomicetos es rico en terpenoides, especialmente sesquiterpenoides, muchos de los cuales poseen estructuras que

hasta ahora sólo han sido detectadas en esta clase de microorganismos (Brizuela *et al.*, 1998). Iwalokun *et al.*, (2007) menciona que los terpenoides aislados de hongos han sido implicados como fitoconstituyentes responsables de actividad antibacteriana, así como los sesquiterpenoides aislados de cuerpos fructíferos de *Lactarius* (Hernández-Ayala, 2009; Nazzaro *et al.*, 2013).

Se ha demostrado que la polaridad del solvente es un factor importante en el tipo de compuesto que se pretende extraer, por ejemplo, en extractos acuosos se obtiene compuestos como polifenoles (ácidos fenólicos y flavonoides), taninos, saponinas y terpenoides; mientras que en extractos etanólicos: flavonoides, taninos, terpenoides y alcaloides (Abugri y McElhenney, 2013; Papuc *et al.*, 2017), mientras que en extractos metanólicos se han encontrado antocianinas y flavonoles, terpenoides, saponinas y taninos (Azmir *et al.*, 2013), en este estudio se determinó la presencia de flavonoides, taninos y lactonas sequiterpenicas lo que concordaría con lo mencionado por Azmir *et al.*(2013).

Este estudio sirve como base para identificar los metabolitos secundarios presentes en cada extracto; para ampliar la información es conveniente realizar análisis más específicos de los metabolitos responsables de la actividad antimicrobiana.

CONCLUSIONES

Los cuerpos fructíferos de *C. subalbidus*, *I. gibba*, *L.deliciosus* y *L. indigo* producen compuestos químicos poseedores de efecto antibacteriano contra *E. coli*, *E. faecalis*, *S. aureus*, y *S. enterica*, bacterias patógenas para el ser humano. Dicho efecto podría ser relacionado a la presencia de alcaloides, flavonoides, glucósidos cardiacos, taninos y sesquiterpenlactonas en los extractos metanólicos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero a la Secretaría de Educación Pública y a la Universidad Autónoma del Estado de México a través del proyecto PRODEP-SEP 2018 No. 4615/2018, y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada al primer autor para sus estudios en el Posgrado de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Autónoma del Estado de México.

REFERENCIAS

- Abugri, D. A. y McElhenney, W. H. 2013. Extraction of total phenolic and flavonoids from edible wild and cultivated medicinal mushrooms as affected by different solvents. *Journal of Natural Product and Plant Resources*. 3(3): 37-42.
- Aitken, E.A.B., Fechner, N., Cusack, A., y Steadman, K.J. 2011. Evaluation of antibacterial activity of Australian basidiomycetous macrofungi using a high-throughput 96-well plate assay. *Pharmaceutical Biology*. 49: 1-9.
- Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M. H. A., Ghafoor, K., Norulaini, N. A. N. y Omar, A. K. M. 2013. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: a review. *Journal of Food Engineering* 117(4): 426-436.

- Bala, N., Aitken, E.A.B., Fechner, N., Cusack, A. y Steadman, K.J. 2011. Evaluation of antibacterial activity of Australian basidiomycetous macrofungi using a high-throughput 96-well plate assay. *Pharmaceutical Biology*. 49: 1-9.
- Barros, L., Venturini, B.A., Baptista, P., Estevinho, L. y Ferreira, I.C.F.R. 2008. Chemical composition and biological properties of Portuguese wild mushrooms: a comprehensive study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56: 3856-3862
- Bautista-González, J.A. 2013. Conocimiento tradicional de hongos medicinales en seis localidades diferentes del país, Tesis de licenciatura, México, UNAM.
- Bautista-González, J.A. y M.A. Herrera-Campos. 2019. Hongos y líquenes en la medicina tradicional mexicana. *Arqueología mexicana*. 87(edición especial): 62-65.
- Beattie, K.D., Rouf, R., Gander, May, L., Ratkowsky, T.W., Donner, D., Gill M. y Tiralongo, E. 2010. Antibacterial metabolites from Australian macrofungi from the genus *Cortinarius*. *Phytochemistry*. 71: 948-955
- Bender, S., Dumitrache, C.N., Backhaus, J. , Christie, G., Cross, R.F., Lonergan G.T. y Baker, W.L. 2003. A case for caution in assessing the antibiotic activity of extracts of culinary-medicinal Shiitake mushroom. *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 5: 31-35
- Borchers A, Keen, C.L. y M.E., Gershwin. 2004. Mushrooms, tumors, and immunity: an update. *Experimental Biology and Medicine*. 229: 393-406
- Brizuela, M. A., García, L., Pérez, L. y M. Mansur. 1998. Basidiomicetos: nueva fuente de metabolitos secundarios. *Revista Iberoamericana de Micología*. 15: 69-74.
- Burrola-Aguilar, C., R. Garibay-Orijel y Hernández-Téllez, M. 2012. Los hongos comestibles silvestres del estado de México: propuesta para su aprovechamiento. En: Sánchez, J.E. y G. Mata. *Hongos Comestibles y medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural*. ECOSUR e INECOL. pp. 39-52
- Buttke, T.M. y Sandstrom, P.A. 1994. Oxidative stress as a mediator of apoptosis. *Immunology Today*. 15: 7-10.
- Cifuentes, J., M. Villegas y L. Pérez-Ramírez. 1986. Hongos. En Lot, A. y F. Chiang (Compiladores). *Manual de Herbario*. Consejo Nacional de la Flora de México, A.C., México.

- Dulger B, Ergul, C., y Gucin, F. 2002. Antimicrobial activity of the macrofungus *Lepista nuda*. *Fitoterapia*. 73: 695-697
- Estrada-Torres, A. y Aroche, R.M. 1987. Acervo etnomicológico en tres localidades del municipio de Acambay, Estado de México. *Revista Mexicana de Micología*. 3:109-131.
- Flores-Mireles, A., Walker, L., Caparon, J. N. y Hultgren, S. J. 2015. Urinary tract infections: epidemiology, mechanisms of infection and treatment options. *Nature Reviews Microbiology*. 13: 269–84.
- Garibay-Orijel, R. y Ruan-Soto, F. 2014. Listado de los hongos silvestres consumidos como alimento tradicional en México. En: Moreno-Fuentes, A. y Garibay-Orijel R. (ed) *Estado del Arte de la Etnomicología mexicana: hacia un Proyecto Etnomicológico Nacional*.
- González Barranco, P., Garza Ocañas, L., Salinas Carmona, M., Vera Cabrera, L., Garza Ocañas, F., Ramírez Gómez, X. y Torres Alanis, O. 2009. Actividad antioxidante, antimicrobiana y citotoxicidad de dos especies mexicanas de *Suillus* spp. *CIENCIA UANL*. 12(1): 62-70.
- Guzmán G. 2008. Diversity and use of traditional Mexican medicinal fungi. A review. *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 10(3): 209-217
- Hernández-Ayala M. 2009. Efectos de extractos orgánicos de *Lactarius indigo* sobre la viabilidad de líneas tumorales humanas. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México.
- Hirasawa, M., Shouji, N., Neta, T., Fukushima, K. y Takada K. 1999. Three kinds of antibacterial substances from *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. (Shiitake, an edible mushroom). *International Journal of Antimicrobial Agents*. 11: 151-157.
- Horna-Quintana, G., Silva-Díaz, M., Taboada, W., y Ortiz, J. 2005. Concentración mínima inhibitoria y concentración mínima bactericida de ciprofloxacina en bacterias uropatógenas aisladas en el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas. *Revista Médica Herediana*. 16(1): 39-45.
- Iwalokun, B. A, U.A. Usen, A.A. Otunba, D.K. Olukoya. 2007. Comparative phytochemical evaluation, antimicrobial and antioxidant properties of *Pleurotus ostreatus*. *African Journal of Biotechnology*. 6(15): 1732-1739.

- Kalač P. 2009. Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review. *Food Chemistry*. 113: 9-16.
- Kalyoncu, F. y Oskay, M. 2008. Antimicrobial activities of four wild mushroom species collected from Turkey. *Proceeding of the 6th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products*.
- Lagunas-Rangel, F. A. 2018. Susceptibility profiles of bacteria causing urinary tract infection in Mexico-Single center experience with 10 years results. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*. 14: 90-94.
- Lee, S.J, Yeo, W.H., Yun, S. y Yoo, D. 2004. Isolation and sequence analysis of newpeptaibol, boletusin, from *Boletus* spp. *Journal of Peptide Science*. 5: 374-378
- Lindequist, U., Niedermeyer, T.H.J. y Jülich, W.D. 2005. The pharmacological potential of mushrooms. *eCAM*. 2: 285-299.
- Martínez, J. A. y Sánchez F. 2007. Mecanismo de acción de los antibióticos. *Jano: Medicina y Humanidades*. 1660: 28-34.
- Montero-Recalde, M. y Vayas L. 2018. Evaluación de dos métodos para medir la sensibilidad de inhibición de crecimiento de la cepa certificada de *Staphylococcus aureus* subsp. *aureus* *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 29(4): 1543-1547.
- Mothana, R.A., Jansen, R., Jülich, W.D. y Lindequist U. 2000. Ganomycins A and B new antimicrobial Farnesyl hydroquinones from the Basidiomycete *Ganoderma pfeifferi*. *Journal of Natural Products*. 63: 416-418.
- Nazzaro, F., Fratianni, F., De Martino, L., Coppola, R. y De Feo, V. 2013 Effect of essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals*. 6:451-1474.
- Nowacka, N., Nowak, R., Drozd, M., Olech, M., Los, R. y Malm, A. 2014. Analysis of phenolic constituents, antiradical and antimicrobial activity of edible mushrooms growing wild in Poland. *LWT-Food Science and Technology*. 59(2): 689-694.
- Papuc, C., Goran, G. V., Predescu, C. N., Nicorescu, V. y Stefan, G. 2017. Plant polyphenols as antioxidant and antibacterial agents for shelf-life extension of meat and meat products: Classification, structures, sources, and action mechanisms. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 16(6): 1243-1268.

- Quang, D.N., Bach, D.D., Hashimoto, T. y Asakawa, Y. 2006. Chemical constituents of the Vietnamese inedible mushroom *Xylaria intracolorata*. *Journal of Natural Products*. 20: 317–321.
- Quiñonez-Martínez, M., Ruan-Soto, F., Aguilar-Moreno, E., Garza-Ocañas, F., Ebgue-Keleng, T., Lavín-Murcio, A. y Enríquez-Anchondo, I. 2014. Knowledge and use of edible mushrooms in two municipalities of the Sierra Tarahumara, Chihuahua, Mexico. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine* 10(67). 1-13.
- Ren, L., Hemar, Y., Perera, C. O., Lewis, G., Krissansen, G. W. y Buchanan, P. K. 2014. Antibacterial and antioxidant activities of aqueous extracts of eight edible mushrooms. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fiber*. 3(2): 41-51.
- Ruiz, M. J., Pérez-Moreno, J., Almaraz-Suárez, J. J. y Torres- Aquino, M. 2013. Hongos silvestres con potencial nutricional, medicinal y biotecnológico comercializados en Valles Centrales, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4(4): 199-213
- Sánchez-García, D., C. Burrola-Aguilar, C. Zepeda-Gómez, M.E. Estrada-Zúñiga. 2020. Edible, medicinal wild mushrooms: A study in Estado de México. *Agro Productividad*. 13(10): 57-62.
- Sharma, A., Bhatta, D. R., Shrestha, J. y Banjara, M. R. 2013. Antimicrobial susceptibility pattern of *Escherichia coli* isolated from urinary tract infected patients attending Bir hospital. *Nepal Journal of Science and Technology*. 14: 177-184.
- Sheena, N., Ajith, T.A., Mathew, A.T. & K.K Janardhanan. 2003. Antibacterial activity of three macrofungi, *Ganoderma lucidum*, *Navesporus floccosa* and *Phellinus rimosus* occurring in South India. *Pharmaceutical Biology* 41: 564-567.
- Smânia A., Monache, M.L., Gil, F.D., Benchetrit, L.C. y Cruz, F.S. 1995. Antibacterial activity of a substance produced by the fungus *Pycnoporus sanguineus* (Fr.) Murr. *Journal of Ethnopharmacology*. 45: 177-181.
- Solak, M.H., Kalmis, E., Saglam, H. y Kalyoncu, F. 2006. Antimicrobial activity of two wild mushrooms *Clitocybe alexandri* (Gill.) Konr. and *Rhizopogon roseolus* (Corda) T.M. Fries collected from Turkey. *Phytotherapy Research*. 20: 1085-1087.
- Talebcontini, S. H., Salvador, M. J., Watanabe, E., Ito, I. Y. y Rodrigues, D. 2003. Antimicrobial activity of flavonoids and steroids isolated from two *Chromolaena* species. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Science* 39: 403-408.

- Tibyanyge, J., Okech, M. A., Nyabayo, J. M. y Nakavuma J. L. 2015. *In vitro* antibacterial activity of *Ocimum suave* essential oils against uropathogens isolated from patients in selected hospitals in Bushenyi District, Uganda. *British Microbiology Research Journal*. 8: 489–498.
- Turkoglu, A., Duru, M.E., Mercan, N., Kivrak, I. y Gezer, K. (2007). Antioxidant and antimicrobial activities of *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill. *Food Chemistry*. 101: 267-273.
- Valencia del Toro, G. y Garín-Aguilar, M. 2010. Manual de prácticas de productos naturales. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. Instituto Politécnico Nacional. 31-34.
- Valencia del Toro, G, Garín Aguilar, M.E., Cuadros-Moreno, A., Aguilar-Doroteo, L., Durán Páramo, E. 2012. Actividad antibacteriana de extractos de cepas híbridas y parentales de *Pleurotus* spp. En: Sánchez J. y Mata G. ed. *Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica*. México.
- Yamac, M. y Bilgili, F. 2006. Antimicrobial activities of fruit bodies and/or mycelial cultures of some mushroom isolates. *Journal Pharmaceutical Biology*. 44: 660-667.

8. DISCUSIONES GENERALES

A lo largo de la historia los seres humanos se han valido de los recursos naturales que se encuentran a su alrededor; entre todos ellos, los hongos silvestres destacan por sus singulares formas, colores, sabores y olores. Gracias a la diversidad de ecosistemas del territorio mexicano, es factible la presencia de una gran variedad de hongos silvestres, los cuales fueron aprovechados por los antiguos pobladores de Mesoamérica. Además, los hongos silvestres comestibles representan una fuente de compuestos bioactivos que puede ser beneficioso para los seres humanos (González-Barranco *et al.*, 2009), se sabe que sus compuestos podrían presentar diferentes actividades farmacológicas como antimicrobianas (Ren *et al.*, 2014).

En primera instancia, se elaboró el listado de especies de HCS con uso medicinal, a partir de entrevistas en el tianguis' Amanalco de Becerra, Santa María del Monte (Zinacantepec) y Villa Cuauhtémoc (Otzolotepec). La información obtenida fue estructurada en el artículo "Edible, medicinal wild mushrooms: A study in Estado of México", en el que se incluyó una lista de 36 especies de hongos silvestres comestibles con uso medicinal divididos en 11 categorías de uso, donde las enfermedades más tratadas son las relacionadas con las circulatorias y digestivas. La importancia cultural de los HCS varió de acuerdo con la localidad, aparentemente determinada por el tipo de vegetación en que están inmersas y los hongos disponibles en ésta.

Los hongos son aprovechados para autoconsumo y como complemento en la dieta, aunque destaca la venta como una actividad para obtener ingresos extraordinarios durante la temporada de lluvias.

En segundo lugar, se evaluó la actividad antibacteriana y la concentración mínima inhibitoria *Cantharellus subalbidus*, *Infundibulicybe gibba*, *Lactarius indigo* y *L. deliciosus*, la información fue descrita en el artículo “Actividad antibacteriana in vitro de extractos metanólicos de los hongos comestibles silvestres *Cantharellus subalbidus*, *Infundibulicybe gibba*, *Lactarius indigo* y *L. deliciosus*”. Obteniendo que el extracto metanólico de los cuerpos fructíferos de *C. subalbidus*, *I. gibba*, *L. deliciosus* y *L. indigo* inhibieron significativamente el crecimiento de las bacterias patógenas *E. coli*, *E. faecalis*, *S. aureus*, y *S. enterica*. Los hongos silvestres comestibles representan una fuente de compuestos bioactivos que puede ser beneficioso para los seres humanos (González-Barranco *et al.*, 2009), se sabe que sus compuestos podrían presentar diferentes actividades farmacológicas como antimicrobianas (Ren *et al.*, 2014). Actualmente, ha existido un creciente interés en la farmacología moderna para la extracción y estudio de compuestos químicos (metabolitos activos secundarios) extraídos de hongos comestibles silvestres con propiedades medicinales (Barros *et al.*, 2008; Yu-Cheng *et al.*, 2009).

Hugo y Russell (1983) mencionan la intensidad del efecto antimicrobiano depende de las especies de hongos, la concentración y el organismo probado por lo general, los compuestos activos puros presentan una mayor actividad antibacteriana que los extractos crudos, en cuanto al cloranfenicol inhibió el crecimiento de bacterias, debido a que el mecanismo principal de acción es la inhibición de la síntesis de proteínas (Morales *et al.*, 2007).

CONCLUSIONES GENERALES

En el Estado de México, existe un conocimiento limitado sobre el número de especies fúngicas con uso medicinal, lo que implica que es un recurso subutilizado por los habitantes de las zonas de estudio. De acuerdo a la revisión bibliográfica realizada se obtuvo que 36 especies de hongos silvestres comestibles se utilizan con fines medicinales.

La importancia cultural de las especies varió de acuerdo con la localidad, aparentemente determinada por el tipo de vegetación en que están inmersas y los hongos disponibles en éste. De manera general, los hongos son aprovechados para autoconsumo y como complemento en la dieta; también destaca su venta como una actividad para obtener ingresos económicos durante la temporada de lluvias.

Con el análisis micoquímico realizado se identificaron alcaloides, flavonoides, glucósidos cianógenicos, azúcares reductores, taninos y sesquiterpenlactonas. Estos compuestos llevan a cabo dicha bioactividad. Este estudio se demostró la actividad antibacteriana de *Cantarellus subalbidus*, *Lactarius indigo*, *Amanita flavoconia* y *Amanita novinupta* inhibiendo el crecimiento de bacterias las cuales causan infecciones.

Este estudio puede ser considerado como una base para identificar los metabolitos secundarios presentes en cada extracto.

Para ampliar la información es conveniente realizar análisis más específicos de los metabolitos responsables de la actividad antibacteriana.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Akers B. P., A. Ruiz y C. A. P. Ruck. 2011. A prehistoric mural in Spain depicting neurotropic *Psilocybe* mushroom? *Economic Botany* 65: 121-128.
- Akyuz M. y S. Kirbag 2009. Antimicrobial activity of *Pleurotus eryngii* var. *ferulae* grown on various agro-wastes. *Eur. Asian. Journal of BioSciences*. 3:58-63.
- Alves M.J., I. C. F. R. Ferreira, J. Dias, V. Teixeira, A. Martins. 2015. A Review on antimicrobial activity of mushroom (Basidiomycetes) extracts and isolated compounds. *Planta Médica*. 78: 1707–1718
- Andrade R.H, G Mata, J.E Sánchez. 2012. La producción iberoamericana de hongos comestibles en el contexto internacional. In: Mata G, JE Sánchez eds. *Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural*. Chiapas, México. El Colegio de la Frontera Sur. p. 9-18.
- Bala N., E.A.B Aitken, N. Fechner, A. Cusack, K.J Steadman. 2011. Evaluation of antibacterial activity of Australian basidiomycetous macrofungi using a high-throughput 96-well plate assay. *Pharmaceutical Biology* 49: 1–9.
- Bandala V., L. Montoya, I. Chapela, 1997. Wild edible mushrooms in Mexico: a challenge and opportunity for sustainable development. In: Palm, M.E., Chapela, I.H. (eds.), *Mycology in sustainable development: expanding concepts vanishing borders*, Parkway Publishers Inc. Boone, pp. 76-90.
- Barros L., B.A Venturini, P. Baptista, L.M Estevinho, I.C.F.R Ferreira 2008. Chemical composition and biological properties of Portuguese wild mushrooms: a comprehensive study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56: 3856–3862
- Barros L., M. Dueñas, I. Ferreira, P. Baptista y C. Santos-Buelga. 2009. Phenolic acids determination by HPLC-DAD-ESI/MS in sixteen different Portuguese wild mushrooms species. *Food and Chemical Toxicology* 47: 1076-1079.
- Bautista-Gonzales J. 2013. Conocimiento tradicional de hongos medicinales en seis localidades diferentes del país. Facultad De Ciencias. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Beattie K.D, R. Rouf, L. Gander, T.W May, D. Ratkowsky, C.D Donner, M. Gill y E. Tiralongo. 2010. Antibacterial metabolites from Australian macrofungi from the genus *Cortinarius*. *Phytochemistry*. 71: 948–955
- Becerra G., A. Plascencia, A. Luévanos, M. Domínguez y I. Hernández. 2009. Mecanismo de resistencia a antimicrobianos en bacterias. *Enfermedades Infecciones y microbiología*. 29(2): 70-76.
- Bender S, C.N. Dumitrache, J. Backhaus, G. Christie, R.F Cross, G.T Lonergan y W.L Baker. 2003. A case for caution in assessing the antibiotic activity of extracts of culinary-medicinal Shiitake mushroom. *International Journal of Medicinal Mushrooms* 5: 31–35
- Borchers A, C.L Keen y M.E Gershwin. 2004. Mushrooms, tumors, and immunity: an update. *Experimental Biology and Medicine*. 229: 393–406
- Brizuela M. A., L. García, L. Pérez y M. Mansur. 1998. Basidiomicetos: nueva fuente de metabolitos secundarios. *Revista Iberoamericana de Micología* 15: 69-74.
- Cappello-García S. 2003. ¿Son los hongos macroscópicos un peligro o un beneficio para la salud? *Educación Ambiental, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco*.
- Cordiés L., L. Machado y M. Hamilton. 1998. Principios generales de la terapéutica antimicrobiana. *Acta médica*. 8(1):13-27.
- Craig W.A. 2004. Antibacterial therapy. In: Goldman & Ausiell, editor. *Cecil textbook of medicine*, 22^a ed. Philadelphia: Saunders: 1853–1926
- Chambers, H. 2003. Bactericidal vs. bacteriostatic antibiotic therapy: A clinical mini-review. *Education Prevention Research, National Foundation for Infectious Diseases*. 6(4):1-6.
- Chang S.T y P.G Miles. 2004. Mushroom cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact. Washington D.C., USA. CRC Press. 451 p.
- Chowdhury H.M., K Khadizatul y S. Rashel. 2015. Screening of antimicrobial, antioxidant properties and bioactive compounds of some edible mushrooms cultivated in Bangladesh. *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials*. 14:8
- Dahanukar S.A, R.A Kulkarni y N.N Rege. *Pharmacology of medicinal plants and natural products*. *Indian Journal Pharmacol*. 2000; 32:81-118.

- Daza-Pérez, R. 1998. Resistencia bacteriana a antimicrobianos: su importancia en la toma de decisiones en la práctica diaria. *Información Terapéutica del Sistema Nacional de Salud*. 22: 57-67.
- Dulger B, C.C Ergul y Gučin F. 2002. Antimicrobial activity of the macrofungus *Lepista nuda*. *Fitoterapia*. 73: 695–697
- Estrada Á. 2010. Vida de María Sabina la sabia de los hongos. 8ª ed., 1ª ed. 1977, Siglo XXI Editores, S. A. de C. V., México D. F.
- Estrada-Martínez E, G. Guzmán, T.D Cibrián y P.R Ortega. 2009. Contribución al conocimiento etnomicológico de los hongos silvestres comestibles en los mercados regionales y comunidades de la sierra nevada (México). *Interciencia* 34: 25-33.
- Estrada-Torres A. 1989. La etnomicología: avances, problemas y perspectivas. Examen predoctoral. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, México D. F.
- Fernández-Riverón F. López-Hernández, J. Ponce-Mart y C. Machado-Betarte. 2003. Resistencia bacteriana. *Revista Cubana de Medicina Militar*. 32: 44-48.
- Finberg R., R. Moellering, F. Tally, W. Craig, G. Pankey, E. Dellinger, M. West, M. Joshi, P. Linden, K. Rolston, J.Rostchafer y J. Rybak. 2004. The importance of bactericidal drugs: future directions in infectious Disease. *Clinical Infections Diseases*. 39:1314-1320.
- Flores V.O. y P. Geréz. 1994. Biodiversidad y conservación en Mexico: vertebrados y vegetación y uso del suelo. 2ª ed. CONABIO-UNAM. México
- Fuchs F.D. 2004. Principios Gerais do Uso de Antimicrobianos. In: Fuchs F, Wannamacher L, Ferreira M, editors. *Farmacologia Clínica Fundamentos da terapêutica Racional*, 3ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan: 342
- Garibay-Orijel R., A. Ramírez-Terrazo, M. Ordaz-Velázquez. 2012. Women care about local knowledge, experiences from ethnomycology. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 8(25): 1-12.
- Garibay-Orijel R. 2000. La etnomicología en el mundo: pasado, presente y futuro. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM

- Garibay-Orijel R. y F. Ruan-Soto. 2014. Listado de los hongos silvestres consumidos como alimento tradicional en México. En A. Moreno-Fuentes y R. Garibay-Orijel (Eds.). La etnomicología en México, estado del arte. México: CONACYT, UAEH, UNAM.
- Garibay-Orijel R., F. Ruán-Soto y E. Estrada-Martínez. 2010. El conocimiento micológico tradicional, motor para el desarrollo del aprovechamiento de los hongos comestibles y medicinales. En: Martínez-Carrera, D. (eds). Hacia un desarrollo sostenible del sistema de producción-consumo de los hongos comestibles y medicinales en Latinoamérica: avances y perspectivas en el siglo XXI. Red Latinoamericana de Hongos Comestibles y Medicinales. México, D.F.
- Ginsburg I. 2002. Role of lipoteichoic acid in infection and inflammation. *Lancet Infect Dis.* 2: 171–179
- Gispert M., O. Nava y J. Cifuentes. 1984. Estudio comparativo del saber tradicional de los hongos en dos comunidades de la Sierra del Ajusco. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 19: 253-273.
- González B.P., Garza O.L., Salinas C.M., Vera C.L., Garza O.F., Ramírez G.X., Torres A.O. 2009. actividad antioxidante, antimicrobiana y citotoxicidad de dos especies mexicanas de *Suillus* spp. *Ciencia UANL* 12(01): 62-70.
- Greca A. 2000. La resistencia bacteriana y los nuevos antibióticos. VI Jornadas Internacionales de Medicina Interna X Jornadas de Medicina Interna del Litoral Argentino. 1:7.
- Gutiérrez R. A., A. Estévez B. 2009. Relevancia de los productos naturales en el Descubrimiento de nuevos fármacos en el S. XXI. *Revista Ciencias Exactas Físicas y Naturales.* 103(2) 409-419
- Guzmán G. (1998) Análisis cualitativo y cuantitativo de la diversidad de los hongos en México (Ensayo sobre el inventario fúngico del país). En: La diversidad biológica de Iberoamérica II. *Acta Zoológica Mexicana.* CYTED e Instituto de Ecología de Xalapa. pp: 111-175.
- Guzmán G. 1990. La micología en México. Una reseña histórica de las tradiciones, inicios y avances. *Revista mexicana de Micología* 6: 11-28.

- Guzmán G. 1994. Los hongos y líquenes en la medicina tradicional. En: Argueta, V. A., L. M. Cano A. y M. E. Rodarte (Eds.). Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional Mexicana. Instituto Nacional Indigenista. México, D. F.
- Guzmán G. 1997. Los nombres de los hongos y lo relacionado con ellos en América Latina. Introducción a la etnomicobiota y micología aplicada en la región. 1ra edición. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto de Ecología, A. C., Xalapa, Veracruz.
- Guzmán G. 2008. Diversity and use of traditional Mexican fungi. A review. *International Journal of Medicinal Mushrooms* 10: 209–217.
- Guzmán G. 2012. New taxonomical and ethnomycological observations on *Psilocybe* s. s. (Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetidae, Agaricales, Strophariaceae) from Mexico, Africa and Spain. *Acta Botánica Mexicana* 100: 79-106.
- Guzmán, G. 1980. Las intoxicaciones producidas por los hongos. *Ciencia y desarrollo*. 129-134
- Guzmán, G. 1994. Los hongos en la medicina tradicional de Mesoamérica y de México. *Revista Iberoamericana de Micología* 11: 81-85.
- Guzmán, G. 2011. El uso tradicional de los hongos sagrados: pasado y presente. *Etnobiología* 9: 1-21.
- Hawksworth D. L. 2001. The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revised. *Mycological Research* 105: 1422-1432.
- Hearst R., D. Nelson, G. McCollum, B.C Millar, Y. Maeda, C.E. Goldsmith, P.J Rooney, A. Loughrey, J.R Rao y J.E Moore. 2009. An examination of antibacterial and antifungal properties of constituents of Shiitake (*Lentinula edodes*) and Oyster (*Pleurotus ostreatus*) mushrooms. *Complementary Therapies in Clinical Practice*. 15: 5–7
- Hirasawa M, Shouji N, Neta T, Fukushima K, Takada K. 1999. Three kinds of antibacterial substances from *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. (Shiitake, an edible mushroom). *International Journal of Antimicrobial Agents*. 11: 151–157.
- Hugo B, Russell A. 1983. *Pharmaceutical microbiology*, 3a ed., Blackwell Scientific Publications. 470 pp.

- Huntington H. P., T. Callaghan, S. Fox, y I. Krupnik. 2004. Matching traditional and scientific observations to detect environmental change: A discussion on Arctic terrestrial ecosystems. *Ambio*. 13: 18-23.
- Hur J.M, C.H Yang, S.H Lee, Y.O You, C. Park, K.J Kim. Antibacterial effect of *Phellinus linteus* against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Fitoterapia* . 75: 603–605.
- Ishikawa N. K, M.C. Kasuya y M.D. Vanetti. 2001. Antibacterial activity of *Lentinula edodes* grown in liquid medium. *Brazilian Journal of Microbiology*. 32: 206–210.
- Kalač P. 2009. Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review. *Food Chemistry*. 113: 9– 16.
- Kalyoncu F, Oskay M. 2008. Antimicrobial activities of four wild mushroom species collected from Turkey. *Proceeding of the 6th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products*.
- Kobori, M., M. Yoshida, M. Ohnishi-Kameyama y H. Shinmoto, 2007. Ergosterol peroxide from an edible mushroom suppresses inflammatory responses in RAW264.7 macrophages and growth of HT29 colon adenocarcinoma cells. *British Journal of Pharmacology*, 150: 209-219.
- Koch AL. 2003. Bacterial wall as target for attack: past, present, and future research. *Review journal Clinical Microbiology*. 16: 673–687.
- Kosanic M, B. Rankovic y M. Dasic 2013. Antioxidant and antimicrobial properties of mushrooms. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 19 (5):1040-1046.
- Kües U y Y. Liu. 2000. Fruiting body production in basidiomycetes. *Applied Microbiology Biotechnology* 54: 414-152.
- Lee S.J, W.H Yeo, S. Yun y D. Yoo .1999. Isolation and sequence analysis of newpeptaibol, boletusin, from *Boletus* spp. *Journal of Peptide Science*. 5: 374–378
- Lindequist U, T.H.J Niedermeyer y W.D Jülich. 2005. The pharmacological potential of mushrooms. *eCAM*. 2: 285–299.
- Lu L.Y., H. Conrad, P.J Gillian, L. W.Krissansenc y P. Buchanand. 2014. Antibacterial and antioxidant activities of aqueous extracts of eight edible mushrooms. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre* 3: 41–51.
- Luna-Morales C. 2002. Ciencia, conocimiento tradicional y Etnobotánica. *Etnobiología* 2:120-135.

- Llauradó G., H. Quevedo, J. M. Albear, L. Castán, y R. C. Savón. 2011. Plantas y hongos comestibles en la modulación del sistema inmune. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas* 30(4):511-527.
- Mariaca R., L.C. Silva. C.A. Castaños. 2001. Proceso de recolección y comercialización de hongos comestibles silvestres del valle de Toluca. México. *Ciencia Ergo Sum.* 8:30-40.
- Martínez-Carrera D, P. Morales, M. Sobal, M. Bonilla y W. Martínez. 2007. México ante la globalización en el siglo XXI: El sistema de producción consumo de los hongos comestibles. In Sánchez JE, D Martínez-Carrera, G Mata, H Leal eds.
- Mattila P., K. Suonpää y V. Piironen. 2000. Functional properties of edible mushrooms. *Nutrition* 16: 694-696.
- Montoya A, Hernández-Totomoch O. y A. Estrada-Torres. 2000. Recetas tradicionales para cocinar hongos silvestres. Folleto técnico No. 20. Fundación Produce Ixtacuixtla de Mariano Matamoros, Tlaxcala A.C. México. 18.
- Montoya A. 1992. Análisis comparativo de la etnomicología de tres comunidades ubicadas en las faldas del Volcán La Malintzi, Estado de Tlaxcala. Tesis de Licenciatura, ENEP Iztacala.
- Montoya A. 2005. Aprovechamiento de los Hongos Silvestres comestibles en el volcán La Malinche, Tlaxcala. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Montoya A., A. Kong, A. Estrada-Torres, J. Cifuentes y J. Caballero. 2004. Useful wild fungi of La Malinche National Park, Mexico. *Fungal Diversity* 17: 115-143.
- Montoya A., C. Méndez-Espinoza, R. Flores-Rivera, A. Kong y A. Estrada-Torres. 2007. Hongos tóxicos de Tlaxcala. Libro Técnico No. 2. Universidad Autónoma de Tlaxcala, INIFAP, CONACYT, CONAFOR, SAGARPA.
- Moreno-Fuentes A., E. Aguirre-Acosta, M. Villegas y J. Cifuentes. 1994. Estudio fungístico de los macromicetos en el municipio de Bocoyna, Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Micología* 10:63-76.
- Moreno-Fuentes, Á., R. Garibay-Orijel, J. A. Tovar-Velasco y J. Cifuentes. 2001. Situación actual de la etnomicología en México y el mundo. *Etnobiología* 1: 75-84.

- Mothana R.A, R. Jansen, W.D Jülich y U. Lindequist. 2000. Ganomycins A and B new antimicrobial Farnesyl hydroquinones from the Basidiomycete *Ganoderma pfeifferi*. *Journal of Natural Products*. 63: 416–418.
- Nicholas G.M, J.W. Blunt y M.H.G. Munro. 2001. Cortamidine oxide, a novel disulfide metabolite from the New Zealand basidiomycete (mushroom) *Cortinarius* species. *Journal of Natural Products*. 64: 341–344
- Nuñez B. 2008. Mecanismos de acción de los antibióticos. Uso racional de los antibióticos. *Biblioteca medica* p. 2-5.
- Opal S.M y Cohen J. 1999. Clinical gram-positive sepsis: does it fundamentally differ from gram-negative bacterial sepsis? *Journal of Critical Care*. 27: 1608–1616.
- Öztürk M, M.E Duru, S. Kivrak, N. Mercan-Doğan, A. Türkoglu y M.A Özler. 2011. *In vitro* antioxidant, anticholinesterase and antimicrobial activity studies on three *Agaricus* species with fatty acid compositions and iron contents: a comparative study on the three most edible mushrooms. *Food and Chemical Toxicology*. 49: 1353–1360.
- Pardavé D., M.V. Callejas, L.F. Pardavé y V. Esparza. 2006. Distribución de los hongos venenosos conocidos en el Estado de Aguascalientes. *Investigación y Ciencia*. 14 (35): 31-36.
- Paredes F. y J. Roca. 2004. Acción de los antibióticos, perspectiva de la medición antimicrobiana. *Ambito Farmaceutico, farmacología*. 23(3):116-124.
- Pastor B.J.F. 2002. Los productos forestales no maderables, una fuente de materia prima para el desarrollo de la industria eléctrica en Cuba. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 8(2): 147-152.
- Patiño, D. 2003. ¿Por qué las bacterias se hacen resistentes a la acción de los antibióticos? *Umbral Científico*. 3:47-56.
- Pelaez F. 2005. Biological activities of fungal metabolites in handbook of industrial mycology. Marcel Dekker, New York. 49–92.
- Pérez-Moreno J, A. Lorenzana-Fernández, V. Carrasco-Hernández y A. Yescas-Pérez. 2010. Los hongos comestibles silvestres del parque nacional Izta-Popo, Zoquiapan y anexos. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Colegio de Postgraduados, SEMARNAT, CONACYT. 167 p.

- Pérez-Moreno J, M. Martínez-Reyes, A. Yescas-Pérez, A. Delgado-Alvarado, B. Xoconostle-Cázares. 2008. Wild Mushroom Markets in Central Mexico and a Case Study at Ozumba. *Economic Botany* 62(3): 425-436.
- Piqueras J. 2004. Los hongos como alimentos funcionales. *Fontiquer*. 46-49. Potential of Mushrooms. 2:285–299.
- Poucheret P, F. Fons y Rapior S. 2006. Biological and pharmacological activity of higher fungi: 20-Year retrospective analysis. *Mycologie* 27: 311– 333.
- Quang D.N, D.D Bach, T. Hashimoto y Y. Asakawa. 2006. Chemical constituents of the Vietnamese inedible mushroom *Xylaria intracolorata*. *Journal of Natural Products*. 20: 317–321.
- Quereshi S, A.K Pandey, S.S Sandhu. 2010. Evaluation of antibacterial activity of different *Ganoderma lucidum* extracts. *Journal of Scientific Research*. 3: 9–13
- Ramírez Terrazo, A. 2009. Estudio etnomicológico comparativo entre dos comunidades aledañas al parque nacional lagunas de Montebello Chiapas. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Ramírez-Cruz R., G. Guzmán y F. Ramírez-Guillén. 2006. Las especies del género *Psilocybe* conocidas del Estado de Oaxaca, su distribución y relaciones étnicas. *Revista Mexicana de Micología* 23: 27-36.
- Ramírez-Terrazo A., A. Montoya, J. Caballero-Nieto y R. Garibay-Orijel. 2012. Conocimiento tradicional de los hongos no comestibles en dos comunidades de Tlaxcala. *Memorias del VIII Congreso Mexicano de Etnobiología*, Villahermosa, Tabasco
- Reyes–García V. y S. Martí. 2007. Etnoecología: Punto de encuentro entre la naturaleza y cultura. *Ecosistemas* 16 (003): 45-54.
- Rivero A, Betancort J. (2009). Evaluación de la Actividad Antioxidante de Polifenoles de Algas Marinas. España.
- Rodríguez Arce y J.M. Quirce-Balma. 2012. Las plantas y los hongos alucinógenos: reflexiones preliminares sobre su Rol en la evolución humana. *Reflexiones*. 91(2). pp. 9-32.

- Ruan-Soto F. 2005. Etnomicología en la Selva Lacandona: percepción, uso y manejo de hongos en Lacanjá-Chansayab y Playón de la Gloria, Chiapas. Tesis de Maestría. Colegio de la Frontera Sur, México.
- Ruan-Soto F. 2007. 50 años de etnomicología en México. *Lacandonia* 1: 97-108.
- Ruan-Soto F., J. Caballero, C.Martorell, J.Cifuentes, A.R González-Esquinca, R. Garibay-Orijel. 2013. Evaluation of the degree of mycophilia-mycophobia among highland and lowland inhabitants from Chiapas, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 9(36): 1-13.
- Ruan-Soto F., R. Garibay-Orijel y J. Cifuentes. 2004. Conocimiento Micológico Tradicional en la Planicie Costera del Golfo de México. *Revista Mexicana de Micología* 19: 57-70.
- Ruan-Soto F., R. Garibay-Orijel y J. Cifuentes. 2006. Process and dynamics of traditional selling wild edible mushrooms in tropical Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 2: 1-13.
- Ruiz R.O. 2006. Agroecología: una disciplina que tiende a la transdisciplina. *Interciencia* 31:140-145.
- Ruiz S.D. 1999. Los micetismos y su relevancia en la medicina. *Revista iberoamericana de Micología*. 16:121-125.
- Ryan M.J y D. Smith. 2004. Fungal genetic resource centres and the genomic challenge. *Mycological Research*. 108(12): 1351-1362.
- Samorini, G. 1999. Nuevas fronteras de la etnomicología. En: Hofmann, A., J. M. Fericgla, G. Samorini, A. Escotado, J. Ott, J. Obiols, J. Camí, J. M. Barbanoj y J. Riba. Los enteógenos y la ciencia; nuevas aportaciones científicas al estudio de las drogas. Colección Cogniciones. Los Libros de la Liebre de Marzo, Barcelona.
- Santoyo S., A. Ramírez-Anguiano, G. Reglero, y C. Soler-Rivas. 2009. Improvement of the antimicrobial activity of edible mushroom extracts by inhibition of oxidative enzymes. *International Journal of Food Science and Technology*. 44: 1057-1064.
- Sheena N, T.A Ajith, A.T Mathew y K.K Janardhanan. 2003. Antibacterial activity of three macrofungi, *Ganoderma lucidum*, *Navesporus floccosa* and *Phellinus rimosus* occurring in South India. *Pharm Biol* 41: 564– 567.

- Shittu O.B, F.V Alofe, G.O Onawunmi, A.O Ogundaini y T.A Tiwalade. 2005. Mycelial growth and antibacterial metabolite production by wild mushrooms. *Afr J Biomed Res.* 8: 157–162.
- Signorini, M. A., M. Piredda, P. Bruschi. 2009. Plants and traditional knowledge: An ethnobotanical investigation on Monte Ortobene (Nuoro, Sardinia). *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 5:6.
- Silveira G, F. Nome, J.C Gesser, H. Terenzi. 2006. Estratégias utilizadas no combate a resistencia bacteriana. *Quím Nova*; 29: 3–7.
- Smânia A, F.D Monache, M.L. Gil, L.C Benchetrit y F.S Cruz. 1995. Antibacterial activity of a substance produced by the fungus *Pycnoporus sanguineus* (Fr.) Murr. *Journal of Ethnopharmacology.* 45: 177–181.
- Smith J., N. Rowan y R. Sullivan. 2002. Medicinal mushrooms: a rapidly developing area of biotechnology for cancer therapy and other bioactivities. *Biotechnology Letters* 24(22): 1839-1845.
- Solak M.H, E. Kalmis, H. Saglam y F. Kalyoncu. 2006. Antimicrobial activity of two wild mushrooms *Clitocybe alexandri* (Gill.) Konr. and *Rhizopogon roseolus* (Corda) T.M. Fries collected from Turkey. *Phytotherapy Research* 20: 1085–1087.
- Solbrig O. 2004. Ventajas y desventajas de la agrobiotecnología. In Bárcena A, A Katz, J Morales, M Schaper eds. *Los transgénicos en América Latina y el Caribe: un debate abierto.* Santiago, Chile. CEPAL. p. 33-69.
- Tacón A y J. Palma. 2006. La comercialización de los productos forestales no madereros: una oportunidad para el manejo comunitario y la valoración del bosque nativo. *Revista Bosque Nativo* 39: 253-266.
- Tambekar D.H, T.P Sonar, M.V Khodke, B.S. Khante.2006. The novel antibacterials from two edible mushrooms: *Agaricus bisporus* and *Pleurotus sajor caju*. *International Journal of Pharmacology.* 2: 584–587.
- Tan B.H y J. Vanitha. Immunomodulatory and antimicrobial effects of some traditional chinese medicinal herbs: A Review. *Current Med Chem.* 2004; 11:1423-30.
- Tenover F.C. 2006. Mechanisms of antimicrobial resistance in bacteria. *American Journal of Infection Control.* 34 (5): 3–10

- Toledo V. 2009. Por qué los pueblos indígenas son la memoria de la especie. Papeles de relaciones ecosociales y cambio global 107:31-32.
- Toledo V.M. 1994. La diversidad biológica de México. Nuevos retos para la investigación en los noventas. Ciencias 34: 43-49.
- Toledo V.M. 2001. Indigenous people and biodiversity. In Levin, S.A. Encyclopedia of biodiversity, Vol. 3, Academic Press, Nueva Jersey. EUA. 451-463.
- Trigos A. y J. Suárez-Medellín. 2010. Los hongos como alimentos funcionales y complementos alimenticios. En: Martínez-Carrera, D., N. Curvetto, M. Sobal, P. Morales y V. M. Mora (Eds.). Hacia un desarrollo sostenible del sistema de producción-consumo de los hongos comestibles y medicinales en Latinoamérica: avances y perspectivas en el siglo XXI. RLHCM, COLPOS, UNS, CONACYT, AMC, UAEM, UPAEP, IMINAP, Puebla.
- Turkoglu A, Duru ME, Mercan N, Kivrak I, Gezer K. 2007. *Antioxidant and antimicrobial activities of Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill Food Chemistry. 101: 267–273.
- Valencia-Flores I. A. 2006. Uso tradicional de los hongos silvestres en San Pedro Nexapa, Estado de México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Villareal L. y A. Gómez. 1997. Inventory and monitoring wild edible mushrooms in Mexico: Challenge and Opportunity for Sustainable Development. En Palm ME, Chapela IH (Eds.) Mycology in sustainable development: Expanding Concepts, Vanishing Borders. 99-109.
- Winkelman M.J. 2007. Therapeutic bases of psychedelic medicines: psychointegrative effects, p.1-19. En: M. Winkelman & T. Roberts (eds.). Psychedelic medicine: new evidence for hallucinogenic substances as treatments, 2 vols. Vol. 1. Praeger, Westport, Connecticut. EEUU.
- Xu X, H. Yan, J. Chen y Zhang X. 2011. Bioactive proteins from mushrooms. Biotechnology Advances. 29: 667–674.
- Yamac M y F. Bilgili. 2006. Antimicrobial activities of fruit bodies and/or mycelial cultures of some mushroom isolates. Journal Pharmaceutical Biology. 44: 660– 667.
- Yuan Z., P. He, J. Cui y H. Takeuchi. 1998. Hypoglycemic effect of water-soluble polysaccharide from *Auricularia auricula-judae* Quel. on genetically diabetic KK-Ay mice. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry 62: 1898-1903.

- Yu-Cheng D., Y. Zhu-Liang C. Bao-Kai, Y. Chang-Jun y Z. Li-Wei. 2009. Species diversity and utilization of medicinal mushrooms and fungi in China (review). *International Journal of Medicinal Mushrooms* 11: 287-302.
- Zamora-Martinez M., G. Reygadas y J. Cifuentes. 1994. Hongos comestibles silvestres de la subcuenca arrollo El Zorrillo, Distrito Federal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México. D.F. 97.
- Zamora-Martínez M.C. y C. Nieto de Pascual-Pola. 1995. Natural production of wild edible mushrooms in the southwestern rural territory of Mexico City, Mexico. *Forest Ecology and Management* 72(1): 13-20.